

# **SINTESIS ZEOLIT-X BERPENDUKUNG SERAT GELAS SEBAGAI MATERIAL PENYERAP CO<sub>2</sub> : VARIASI WAKTU PERENDAMAN DAN KONSENTRASI NaOH SEBAGAI AKTIVATOR SERAT GELAS**

Nama : Anggita Rara Kumala Wardani  
NRP : 1410 100 051  
Jurusan : Kimia FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Nurul Widiastuti, Ph.D

## **Abstrak**

Pada penelitian ini zeolit X berpendukung material serat berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal sederhana. Serat gelas (*glass wool*) digunakan sebagai material serat dengan variasi waktu dan konsentrasi pada aktivasi serat. Proses aktivasi serat gelas memberikan pengaruh terhadap kristalinitas zeolit X dan pertumbuhan kristal zeolit X pada permukaan serat. Hasil karakterisasi menggunakan XRD, SEM, AFM menunjukkan bahwa kristal zeolit X dapat tumbuh menyelimuti permukaan serat dengan kristalinitas paling tinggi pada konsentrasi aktivasi serat sebesar 4M selama 24 jam (1 hari). Luas permukaan dan karakteristik pori dianalisis menggunakan adsorpsi isotherm gas N<sub>2</sub>. Pengukuran adsorpsi karbon dioksida secara gravimetri menunjukkan bahwa zeolit X berpendukung material serat mampu menangkap gas karbon dioksida pada suhu ruang hingga mencapai 2,83% berat.

**Kata kunci** : Zeolit X, serat gelas, aktivasi, karbon dioksida

# **SYNTHESIS OF ZEOLITE-X SUPPORTED ON FIBER FOR CO<sub>2</sub> CAPTURE : VARIATION OF IMMERSION TIME AND NaOH CONCENTRATION AT GLASS WOOL ACTIVATION**

Name : Anggita Rara Kumala Wardani  
NRP : 1410 100 051  
Department : Chemistry FMIPA-ITS  
Advisor Lecturer : Nurul Widiastuti, Ph.D

## **Abstract**

In this research, zeolite X supported by fiber material was successfully synthesized using a simple hydrothermal method. Glass wool is used as fiber material with additional variation of time and concentration at glass wool activation. Activation process in glass wool has an effect toward crystallinity and growth of zeolite X at fiber surface. The results of characterization using XRD, SEM and AFM showed that zeolite X crystal grow at fiber surface with highest crystallinity while concentration of activation reach 4M during 24 hours (one day). BET surface area and pore characteristic analyzed by N<sub>2</sub> isothermal adsorption. Carbon dioxide adsorption measurement by gravimetric method showed that zeolite X supported by fiber material has capability to capture carbon dioxide at room temperature until reach 2,83 wt.%.

**Keyword** : Zeolite X, glass wool, activation, carbon dioxide

## **BAB II**

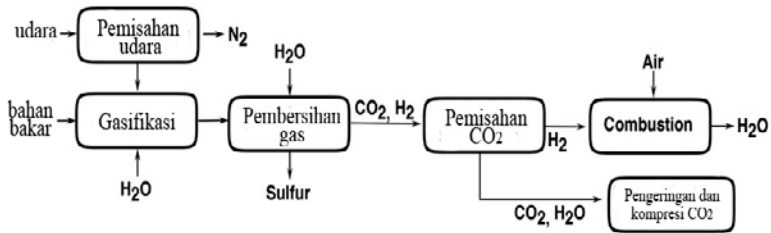
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karbon Dioksida**

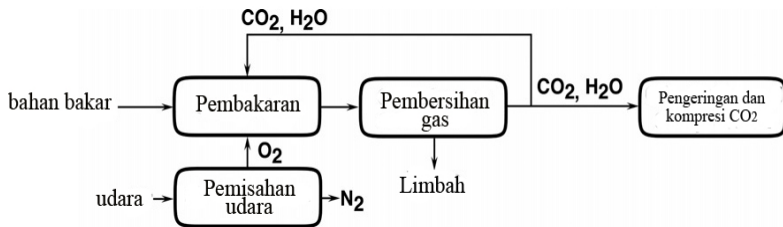
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan salah satu gas yang dianggap sebagai penyebab utama terjadinya efek rumah kaca (Figueroa dkk., 2008 dan Yang dkk., 2008). Hal ini disebabkan karena konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  terus meningkat dari tahun ke tahun, sehingga melampaui kemampuan tumbuhan dan laut untuk menyerapnya. Pada akhirnya, gas karbon dioksida akan terperangkap dalam lingkup atmosfer bumi dan menyebabkan pemanasan global yang ditandai dengan naiknya suhu bumi, pergeseran iklim dan naiknya permukaan laut (Figueroa dkk., 2008 ; Li dkk., 2011 ; Yang dkk., 2008).

Gas  $\text{CO}_2$  berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (Yang dkk., 2008), proses industri (Li dkk., 2011) serta produksi hidrogen dari senyawa hidrokarbon (Muradov, 1993). Hampir 85% kebutuhan energi di dunia berasal dari bahan bakar fosil. Proses pembakaran bahan bakar fosil tersebut akan melepaskan gas  $\text{CO}_2$  ke udara dalam jumlah besar sehingga dapat menyebabkan polusi udara maupun efek rumah kaca. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida di dalam atmosfer untuk mengurangi polusi udara serta efek rumah kaca.

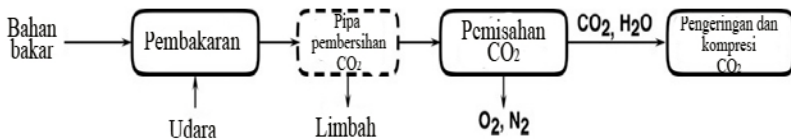
Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan emisi gas  $\text{CO}_2$  tersebut adalah menggunakan teknologi penangkap dan penyimpanan gas karbon dioksida ( *$\text{CO}_2$  Capture and Storage*) yang berfungsi untuk menangkap  $\text{CO}_2$  , kemudian menyimpannya agar tidak lepas ke atmosfer (Anderson dan Newel, 2003 ; D'Alessandro dkk., 2010 ; Li dkk., 2013 ; Yu dkk., 2012). Terdapat tiga pendekatan utama yang digunakan dalam teknologi penangkap dan penyimpan  $\text{CO}_2$  yaitu *Pre-combustion capture*, *Oxy-fuel combustion capture* dan *Post-combustion capture*.



Gambar 2.1 Diagram alir proses *pre-combustion capture* (Miller, 2011).



Gambar 2.2 Diagram alir proses *oxy-fuel combustion capture* (Miller, 2011).



Gambar 2.3 Diagram alir proses *post-combustion capture* (Miller, 2011).

Masing-masing pendekatan teknologi penangkap  $CO_2$  tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan. Perbandingan kelemahan dan kelebihan dalam pendekatan teknologi penangkap  $CO_2$  dapat dilihat dalam Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbandingan tiga pendekatan utama teknologi penangkap CO<sub>2</sub>

<b>Teknologi Penangkap CO<sub>2</sub></b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kelemahan</b>	<b>Pustaka</b>
<i>Pre-Combustion</i>	Menghasilkan gas sintetik ( <i>syngas</i> ) kaya hidrogen.	Gas sintetik ( <i>syngas</i> ) yang dihasilkan dapat menyebabkan korosi.	(Li dkk., 2011)
	Mampu menangkap hampir 91,6% emisi CO <sub>2</sub> .	Proses lebih rumit dan biaya untuk membangun sistem sangat mahal.	(Wong dkk., 1999)
<i>Oxy-fuel Combustion</i>	Hasil gas buang berupa CO <sub>2</sub> dan air (H <sub>2</sub> O) sehingga tidak diperlukan proses pemisahan CO <sub>2</sub> .	Membutuhkan biaya sangat tinggi saat proses pemisahan udara di awal	(Figueroa dkk., 2008)
	Mampu menangkap 92,6% emisi CO <sub>2</sub> .	Membutuhkan oksigen murni hingga 98% sehingga biaya operasi sangat tinggi.	(Wong dkk., 1999)
<i>Post-Combustion</i>	Proses pemisahan CO <sub>2</sub> lebih mudah karena menggunakan metode seperti absorpsi, membran, kriogenik dan adsorpsi.	Membutuhkan energi cukup tinggi saat menggunakan metode kriogenik dan membran	(Miller, 2011)
	Biaya operasional lebih murah		

Teknologi *pre-combustion capture* merupakan suatu sistem penangkap karbon dioksida dengan cara mengoksidasi bahan bakar fosil dengan udara atau oksigen untuk menghasilkan gas sintesis (syngas) yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan sedikit metana (CH<sub>4</sub>). Setelah itu, campuran gas dimasukkan ke dalam reaktor untuk mengubah CO menjadi CO<sub>2</sub> dan akhirnya gas CO<sub>2</sub> dapat dipisahkan (Li dkk., 2011 dan Miller, 2011). Proses *oxy-fuel combustion capture* lebih sederhana dari *pre-combustion capture* karena proses oksidasi menggunakan oksigen sehingga hanya menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan tidak perlu melakukan pemisahan gas CO<sub>2</sub>, tetapi memerlukan biaya sangat tinggi untuk pemisahan oksigen dengan kemurnian 98% dari udara. Pada pendekatan ketiga yaitu *post-combustion capture*, prosesnya lebih fleksibel karena hasil pembakaran gas atau gas buang akan dilewatkan melalui suatu media yang dapat menangkap atau memisahkan CO<sub>2</sub>. Media untuk penangkap CO<sub>2</sub> dalam *post-combustion capture* adalah absorpsi, kriogenik, membran dan adsorpsi (Li dkk., 2011). Penggunaan teknologi *post-combustion capture* lebih banyak dikembangkan karena metode pemisahan CO<sub>2</sub> lebih sederhana dan lebih efisien dibandingkan dengan teknologi *pre-combustion capture* maupun *oxy-fuel combustion capture*. Penggunaan konsumsi energi yang tinggi untuk metode kriogenik dan membran dapat dihindari dengan memilih metode absorpsi atau adsorpsi untuk mereduksi biaya operasi.

## 2.2 Metode Pemisahan Karbon Dioksida

Saat ini, metode pemisahan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam pendekatan teknologi *post-combustion capture* yang paling sering digunakan meliputi absorpsi (Miller, 2011 dan Yu dkk., 2012), kriogenik (Tuinier dkk., 2011), membran (Kazama dan Haraya, 2013 ; Tuinier dkk., 2011) dan adsorpsi (Cheung dkk., 2013 ; Zelenák dkk., 2008 ; Zukał dkk., 2011). Perbandingan keempat metode pemisahan karbon dioksida dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan metode pemisahan CO<sub>2</sub>

No	Metode	Keterangan	Energi yang dibutuhkan (MJ/Kg CO <sub>2</sub> )	Batas murni	Satuan waktu mencapai batas murni	Pustaka
1	Absorpsi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaksi antara adsorben dan adsorbat (gas CO<sub>2</sub>) sangat kuat sehingga dibutuhkan energi sangat tinggi untuk memisahkan kembali adsorben dan adsorbat.</li> <li>- Proses lebih rumit karena gas CO<sub>2</sub> harus diubah ke dalam bentuk larutan dengan menggunakan pelarut kimia.</li> </ul>	0,5 - 4,5	99	Jam	(European Commission, 2007 ; Li dkk., 2011 ; Pirngruber dkk., 2013 ; Smith dkk., 2013)
2	Kriogenik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- suhu yang digunakan cukup rendah antara 103°C -122°C</li> <li>- Kurang efisien karena gas CO<sub>2</sub> harus diubah fasanya menjadi cairan dengan suhu sangat rendah</li> </ul>	0,4	99	Jam	(Li dkk., 2011 ; Miller, 2011 ; Smith dkk., 2013 ; Xu dkk., 2012)

Tabel 2.2 Perbandingan metode pemisahan CO<sub>2</sub>

No	Metode	Keterangan	Energi yang dibutuhkan (MJ/Kg CO <sub>2</sub> )	Batas murni	Satuan waktu mencapai batas murni	Pustaka
3	Membran	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selektivitas terhadap gas CO<sub>2</sub> masih tergolong rendah untuk digunakan secara komersial</li> <li>- Membutuhkan suhu tinggi agar mendapat kemurnian CO<sub>2</sub> tinggi</li> </ul>	0,5 - 16,56	< 40	Menit	(Kazama dan Haraya, 2013 ; Li dkk., 2011 ; Smith dkk., 2013)
4	Adsorpsi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selektivitas beberapa material seperti zeolit sangat tinggi terhadap gas CO<sub>2</sub></li> <li>- Saat adsorpsi secara kimia membutuhkan energi tinggi saat desorpsi CO<sub>2</sub></li> </ul>	0,1 - 1	95	Menit	(Cheung dkk., 2013 ; Li dkk., 2011 ; Pham dkk., 2014 ; Pirngruber dkk., 2013 ; Smith dkk., 2013)



Metode absorpsi pada umumnya menggunakan pelarut kimia seperti pelarut terflorinasi, larutan ammonia dan cairan ionik, sedangkan pada metode adsorpsi menggunakan material seperti silika berpori dan zeolit (Li dkk., 2011). Metode absorpsi dan adsorpsi membutuhkan biaya operasional lebih rendah jika dibandingkan dengan metode kriogenik atau membran. Pada proses kriogenik menggunakan prinsip pendinginan dan kondensasi saat memisahkan  $\text{CO}_2$ , sehingga memerlukan tekanan tinggi serta suhu yang sangat rendah, sedangkan metode membran memerlukan suhu sangat tinggi untuk memisahkan  $\text{CO}_2$  supaya memiliki kemurnian tinggi (Figuerola dkk., 2008 ; Li dkk., 2011 ; Miller, 2011). Berdasarkan Tabel 2.2, batas murni merupakan batas kemurnian maksimal yang didapat dengan menggunakan metode pemisahan  $\text{CO}_2$  tersebut. Metode adsorpsi memiliki batas murni lebih rendah dibanding metode absorpsi dan kriogenik, tetapi memiliki waktu untuk mencapai batas murni lebih cepat yaitu dalam satuan menit. Selain itu, metode adsorpsi lebih menguntungkan karena hanya membutuhkan energi lebih rendah saat proses menangkap  $\text{CO}_2$  dibandingkan semua metode. Metode absorpsi memerlukan energi tinggi karena interaksi antara adsorben (pelarut kimia) dan adsorbat (gas  $\text{CO}_2$ ) berupa ikatan kimia, sehingga sangat sulit dipisahkan saat regenerasi adsorben, sedangkan pada metode kriogenik memerlukan energi tinggi untuk mengubah  $\text{CO}_{2(g)}$  menjadi  $\text{CO}_{2(l)}$  (Miller, 2011). Pada metode membran, selektivitas membran terhadap  $\text{CO}_2$  masih sangat rendah apabila dibandingkan dengan metode adsorpsi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan metode adsorpsi untuk menangkap  $\text{CO}_2$ .

### **2.3 Material untuk Adsorpsi Karbon Dioksida**

Proses adsorpsi dapat terjadi apabila molekul-molekul pada permukaan adsorben memiliki gaya tarik yang memiliki arah tegak lurus bidang permukaan padatan. Proses ini akan berhenti jika kesetimbangan antara gas atau uap dengan permukaan padatan tercapai. Zat yang teradsorpsi dengan

permukaan adsorben akan membentuk suatu ikatan kimia atau fisika, sehingga adsorpsi dapat dibagi menjadi dua macam yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika (Atkins dkk., 2010 dan Jankowska dkk., 1991).

Pada adsorpsi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dapat terjadi adsorpsi secara kimia maupun fisika. Beberapa material yang saat ini dikembangkan untuk adsorpsi karbon dioksida adalah material berpori seperti silika mesopori (Chang dkk., 2009 dan Zeleňák dkk., 2008), zeolit (Akhtar dkk., 2012 ; Cheung dkk., 2013 ; Krishna dan van Baten, 2012 ; Zukal dkk., 2011; Siriwardane dkk., 2001), karbon (Hao dkk., 2010), MOF (*metal organic framework*) (Millward dan Yaghi, 2005) dan COF (*covalent organic framework*) (Furukawa dan Yaghi, 2009 ; Uribe-Romo dkk., 2009). Material silika mesopori, MOF dan COF memiliki jenis adsorpsi kimia, sedangkan karbon dan zeolit termasuk ke dalam jenis adsorpsi fisika. Adsorpsi secara kimia relatif membutuhkan tekanan sangat tinggi agar  $\text{CO}_2$  dapat teradsorpsi lebih banyak seperti dalam material MOF dan COF, tetapi ketika adsorpsi kimia menggunakan tekanan relatif rendah seperti dalam material silika mesopori, kemampuan adsorpsi akan menurun. Selain itu, adsorpsi kimia membutuhkan energi tinggi saat desorpsi karena terjadi ikatan kimia antara karbon dioksida dan material, sehingga karbon dioksida akan sulit dilepaskan kembali dari material penangkap  $\text{CO}_2$  (Miller, 2011). Saat terjadi adsorpsi fisika dalam material karbon dan zeolit, suhu serta tekanan yang digunakan relatif rendah dan karbon dioksida yang teradsorpsi juga lebih banyak dibandingkan silika mesopori. Jankowska dkk.(2001) menyatakan bahwa adsorpsi secara fisika bersifat reversibel dan cenderung memerlukan energi rendah saat desorpsi.

Selain jenis adsorpsi, diameter pori juga mempengaruhi adsorpsi karbon dioksida. Beberapa penelitian yang memperlihatkan pengaruh jenis adsorpsi dan diameter pori terhadap kapasitas adsorpsi karbon dioksida dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Material berpori untuk adsorpsi CO<sub>2</sub>

Material		Jenis adsorpsi	Diameter Pori (nm)	Volume pori (cm <sup>3</sup> /g)	Kapasitas adsorpsi (mmol/g)	Kondisi adsorpsi		Pustaka
						Suhu (°C)	Tekanan (bar)	
<b>Silika mesopori</b>	MCM-48	Kimia	2,87	1,20	1,14	25	1	(Zeleňák dkk., 2008)
	MCM-41	Kimia	2,87	1,20	0,57	25	1	(Zeleňák dkk., 2008)
	SBA-16	Kimia	4,1	0,75	2,93	75	1	(Son dkk., 2008)
<b>Karbon</b>	Karbon monolit	Fisika	2	0,21	3,13	25	1	(Hao dkk., 2010)
<b>Zeolit</b>	Zeolit 13X	Fisika	0,40	0,27	6,00	25	15	(Siriwardane dkk., 2001)
	Zeolit NaA	Fisika	0,66	0,30	4,21	0	1	(Cheung dkk., 2013)
<b>MOF</b>	MOF-177	Kimia	0,43	1,59	33,50	25	32	(Millward dan Yaghi, 2005)
	MOF-5	Kimia	0,59	0,31	2,10	25	1	
<b>COF</b>	COF-102	Kimia	0,43	1,55	27,00	25	55	(Furukawa dan Yaghi, 2009)

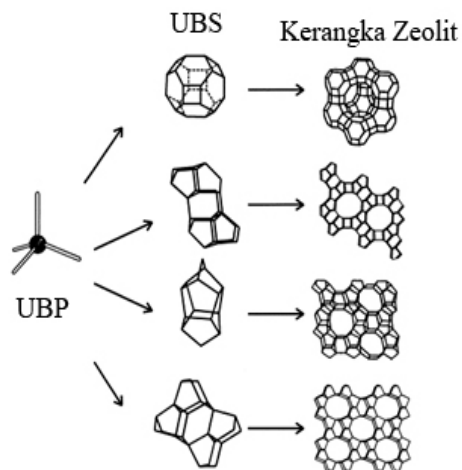
Selain jenis adsorpsi, diameter pori juga mempengaruhi adsorpsi karbon dioksida. Berdasarkan Tabel 2.3, meskipun silika mesopori memiliki diameter pori yang lebih besar dibandingkan material zeolit, karbon, MOF dan COF, karbon dioksida yang teradsorpsi sangat kecil antara 0 – 2 mmol/g. Hal ini menunjukkan bahwa karbon dioksida dapat diadsorpsi oleh material dengan pori yang sesuai. Menurut Deng dkk. (2012), karbon dioksida memiliki diameter kinetik sebesar 0,33 nm, sehingga diameter yang cocok untuk adsorpsi CO<sub>2</sub> adalah antara 0,4 nm – 0,6 nm. Berdasarkan alasan tersebut, material zeolit, MOF dan COF memiliki diameter pori yang sesuai untuk adsorpsi CO<sub>2</sub>. Di samping itu, kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> paling besar juga terdapat dalam material zeolit, MOF dan COF. Walaupun MOF dan COF memiliki kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> lebih besar dibandingkan zeolit, kondisi adsorpsinya membutuhkan tekanan sangat tinggi antara 30 bar – 50 bar, sedangkan zeolit hanya membutuhkan tekanan 1 bar dan dapat dilakukan pada suhu ruang. Hal ini menyebabkan zeolit lebih banyak dikembangkan sebagai material penangkap CO<sub>2</sub>.

### 2.3.1 Zeolit

Kemampuan struktur kristal zeolit untuk membentuk kerangka zeolit dengan ukuran pori bervariasi dapat dimanfaatkan sebagai material penangkap CO<sub>2</sub>. Kerangka zeolit memiliki pori mirip sangkar atau bingkai yang memiliki ukuran diameter pori antara 0,25 nm – 1,5 nm (Cho dkk., 2011 ; Dong dkk., 2007 ; McEwen dkk., 2013), sementara molekul gas CO<sub>2</sub> memiliki diameter kinetik sebesar 0,33 nm (Deng dkk., 2012), sehingga gas CO<sub>2</sub> dapat teradsorpsi ke dalam pori zeolit.

Zeolit merupakan material yang terdiri dari kristal aluminosilikat yang membentuk struktur pori mirip sangkar (*cage like*) atau bingkai (*framework*) dengan ukuran molekuler 0,5 nm - 1,2 nm. Rumus empiris zeolit adalah  $M_{2/n}O[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot mH_2O$ . Satuan dasar penyusun zeolit terdiri dari tetrahedral (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup> dan (AlO<sub>4</sub>)<sup>5-</sup> yang membentuk

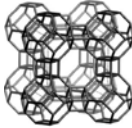

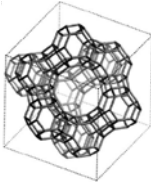

kerangka jaringan tiga dimensi dengan atom oksigen sebagai penghubung (Langmi dkk., 2003 ; Chester dan Derouane, 2009). Struktur dasar tetrahedral Si dan Al disebut sebagai Unit Bagian Primer (UBP) yang kemudian akan membentuk kerangka Unit Bangun Sekunder (UBS) dari zeolit. Beberapa UBS yang terbentuk akan bergabung menghasilkan berbagai struktur kristal zeolit seperti Zeolit A, ZSM-5, Zeolit X atau Y (FAU) (Hischer, 2010). Tahap pembentukan kerangka zeolit dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.4 Pembentukan kerangka zeolit dari berbagai macam bentuk UBS (Weitkamp, 2000).

Beberapa jenis kerangka zeolit tersebut memiliki ukuran diameter pori tertentu berdasarkan bentuk UBS yang dapat dimanfaatkan untuk adsorpsi gas  $\text{CO}_2$ . Ukuran diameter pori dari beberapa jenis zeolit tersebut lebih besar daripada ukuran diameter kinetik molekul  $\text{CO}_2$  sehingga molekul  $\text{CO}_2$  dapat mudah teradsorpsi ke dalam pori zeolit. Jenis zeolit seperti Zeolit A, ZSM-5, Zeolit X atau Y dan Zeolit Na-LEV memiliki ukuran diameter bervariasi sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ukuran diameter pori pada beberapa jenis zeolit

<b>Jenis Zeolit</b>	<b>Diameter Pori (nm)</b>	<b>Gambar</b>	<b>Pustaka</b>
Zeolit A	0,35 – 0,66		(Langmi dkk., 2003 ; Chester dan Derouane, 2009)
ZSM-5	0,51 – 0,57		(Du dan Wu, 2007)
Zeolit X atau Y	0,65 – 0,74		(Langmi dkk., 2003 ; Chester dan Derouane, 2009)
Zeolit NA-LEV	0,36 – 0,48		(Dong dkk., 2007)

Adsorpsi karbon dioksida dengan material zeolit dinilai lebih stabil dan menguntungkan. Zeolit mampu mengadsorpsi CO<sub>2</sub> secara reversibel dengan suhu dan tekanan yang relatif rendah (Siriwardane dkk., 2001 dan Yu dkk., 2013). Hal ini yang menyebabkan penelitian untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada zeolit lebih banyak dilakukan. Beberapa penelitian tentang kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> dalam zeolit menggunakan kondisi adsorpsi tertentu dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada beberapa jenis zeolit

<b>Jenis Zeolit</b>	<b>Kapasitas adsorpsi (mmol/g)</b>	<b>Suhu (°C)</b>	<b>Tekanan (bar)</b>	<b>Pustaka</b>
Zeolit 13X	4,50	25	1	(Siriwardane dkk., 2001)
	6,00	25	15	(McEwen dkk., 2013)
Zeolit NaX	4,00	25	1	(Walton dkk., 2006)
Zeolit NaY	4,00	30	1	(Yu dkk., 2013)
ZSM-5	2,59	40	1	(Yu dkk., 2013)
H-Chabazite	4,32	30	12	(Yu dkk., 2013)
Zeolit NaA	2,70	30	1	(Zukal dkk., 2011)
	4,21	0	1	(Cheung dkk., 2013 )
Zeolit NaKA	3,77	0	1	(Cheung dkk., 2013 )

Kondisi adsorpsi dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada zeolit. Berdasarkan Tabel 2.5, tekanan memiliki pengaruh dalam adsorpsi CO<sub>2</sub> . Pada zeolit 13X dan zeolit 5A, tekanan yang lebih tinggi mengakibatkan kapasitas CO<sub>2</sub> yang teradsorpsi ke dalam zeolit menjadi semakin besar. Pengaruh suhu juga dapat dilihat pada zeolit NaA, ketika adsorpsi dilakukan pada suhu 0°C menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan saat suhu 30°C. Pada penelitian ini dipilih jenis zeolit X sebagai material penangkap CO<sub>2</sub> karena memiliki kapasitas adsorpsi karbon dioksida relatif besar yaitu antara 4 – 6 mmol/g (McEwen dkk., 2013 ; Siriwardane dkk., 2001 ; Walton dkk., 2006) dan

dapat dilakukan pada suhu ruang (25°C) serta tekanan yang relatif kecil sebesar 1 bar.

## 2.4 Sintesis Zeolit X

Prinsip dasar sintesis zeolit X meliputi tahap pembentukan gel, proses hidrotermal dan kristalisasi zeolit. Proses pembentukan gel terjadi saat pencampuran larutan sumber alumina dan sumber silika dengan adanya alkali hidroksida atau basa organik (Georgiev dkk., 2009 dan Yani dkk., 2013). Proses hidrotermal diikuti kristalisasi zeolit dengan naiknya suhu, tekanan konstan dan waktu tertentu. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk sintesis zeolit X seperti sintesis zeolit X dari abu layang ampas tebu (Purnomo dkk., 2000), sedangkan Zhang<sup>a</sup> dkk. (2013) sintesis zeolit X dari natrium aluminat ( $\text{NaAlO}_2$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

Kondisi sintesis zeolit akan mempengaruhi pori yang terbentuk dalam kerangka zeolit. Pada saat tahap pembentukan gel, perbandingan molar Si/Al harus diperhatikan karena akan menentukan struktur dan komposisi zeolit. Penelitian sebelumnya untuk sintesis zeolit X menggunakan perbandingan Si/Al yaitu  $\text{Si/Al} \leq 2$  (Payra dan Dutta, 2003). Selain perbandingan molar Si/Al, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi sintesis zeolit seperti saat pembentukan gel diusahakan  $\text{pH} > 10$  atau berada dalam kondisi basa medium. Selain itu, suhu saat proses hidrotermal serta waktu yang dibutuhkan untuk kristalisasi zeolit juga akan mempengaruhi sintesis. Kristalisasi zeolit X dapat dilakukan pada suhu 90°C -110°C (Zhang<sup>b</sup> dkk., 2013).

### 2.4.1 Zeolit X Berpendukung Material Serat

Hasil sintesis zeolit X merupakan kristal yang memiliki bentuk fisik serbuk dengan ukuran partikel yang relatif kecil. Hal tersebut mengakibatkan penggunaan zeolit menjadi tidak efisien karena sulit dipisahkan saat akan digunakan. Oleh karena itu, bentuk zeolit sering diubah menjadi pellet (Ginting dkk., 2010)



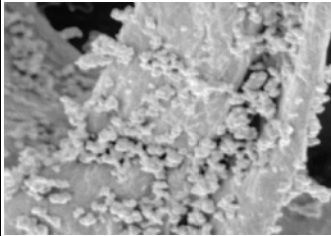
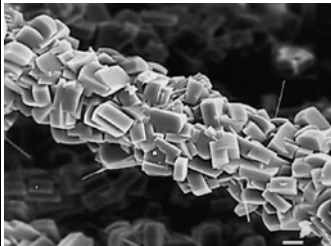
dan granular (Charkhi dkk., 2012) dengan menambah perekat. Tetapi, kemampuan zeolit sebagai material penyimpanan hidrogen dapat menurun karena penambahan perekat dapat menutupi pori pada permukaan zeolit. Sehingga, metode tersebut masih dianggap kurang efisien untuk pengukuran kapasitas adsorpsi gas pada zeolit X.

Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menambahkan material pendukung saat sintesis zeolit X. Lapisan gel dari larutan zeolit akan terbentuk pada permukaan material pendukung. Setelah itu, lapisan gel tersebut akan ternukleasi dan membentuk kristal zeolit. Material pendukung sintesis zeolit yang pernah digunakan adalah keramik berpori (Geus dkk., 1992), alumina berpori (Li dkk., 2013) dan serat (Okada<sup>a</sup> dkk., 1997 ; Okada<sup>b</sup> dkk., 2000 ; Martínez dkk., 2001 ; Xu dkk., 2004 ; Shao dkk., 2013).

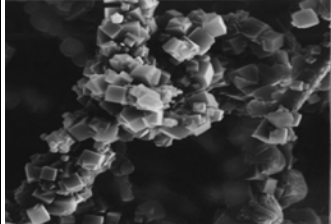
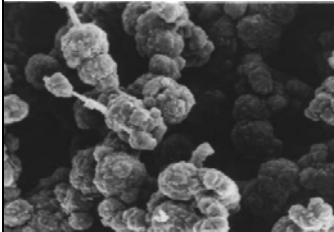
Material pendukung berupa serat memiliki banyak kelebihan ketika digunakan untuk sintesis zeolit yaitu bentuknya berupa filamen yang halus, panjang, serta mudah dibentuk (Valtchev dkk., 1996 ; Larlus dkk., 2002). Penelitian tentang sintesis zeolit berpendukung material serat telah banyak dilakukan. Serat yang digunakan sebagai material pendukung bermacam-macam mulai dari serat tumbuhan (Valtchev dkk., 1996 ; Vu dkk., 2011), serat karbon (Martínez dkk., 2001) dan serat kaca (Okada<sup>a</sup> dkk., 1997). Sebelum digunakan sebagai material pendukung, serat diaktivasi terlebih dahulu menggunakan larutan asam atau larutan basa. Hal tersebut berfungsi untuk merusak struktur permukaan serat dan mengeluarkan fasa dalam serat yang berguna untuk membantu zeolit dapat menempel pada permukaan serat tersebut (Yamazaki dan Tsutsumi, 1995 ; Louis dkk., 2001 ; Izidoro dkk., 2013).

Berbagai jenis zeolit mulai dari zeolit A, zeolit MFI, zeolit Y dan zeolit X pernah digunakan untuk sintesis zeolit berpendukung material serat. Perlakuan sintesis dan hasil dari berbagai penelitian tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2.6 Kondisi sintesis zeolit berpendukung material serat

No	Jenis Zeolit	Material Serat	Aktivasi Serat	Kondisi Hidrotermal	Hasil SEM	Pustaka
1	Zeolit Y	Serat tumbuhan	Direndam dengan variasi larutan basa	-Suhu :100°C -Waktu :24 jam	-Zeolit Y menempel di permukaan serat. 	(Vu dkk., 2011)
2	Zeolit MFI	Serat karbon	Direndam HNO <sub>3</sub> 1 M selama 1 jam	-Diperam 3 jam dahulu -Suhu : 140°C-190°C -Waktu : 4 hari – 6 Hari	-Zeolit MFI dapat tumbuh pada permukaan serat karbon. 	(Martínez dkk., 2001)

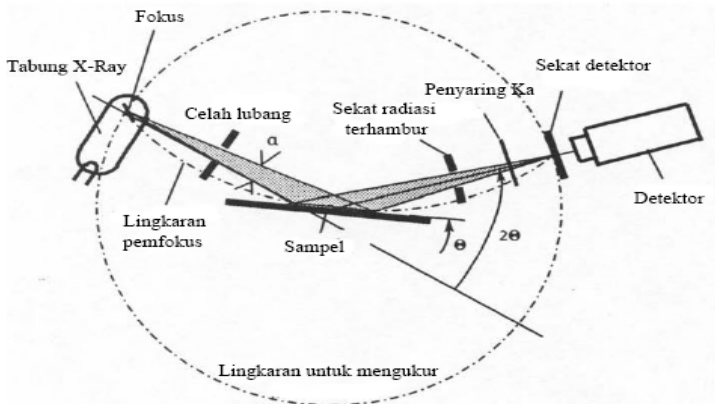
Tabel 2.6 Kondisi sintesis zeolit berpendukung material serat

No	Jenis Zeolit	Material Serat	Aktivasi Serat	Kondisi Hidrotermal	Hasil SEM	Pustaka
3	Zeolit A	Serat kaca	Direndam NaOH 4 M	-Suhu : 60°C-110°C -Waktu : 10 jam – 20 jam	-Kristal zeolit A terbentuk di permukaan serat kaca. 	(Okada <sup>a</sup> dkk., 1997)
4	Zeolit X	Serat kaca	Direndam NaOH + NaCl	Suhu : 110°C Waktu : 6 jam – 18 jam	-Kristal zeolit X telah bercampur dengan zeolit A dan sodalit. 	(Okada <sup>b</sup> dkk., 2000)

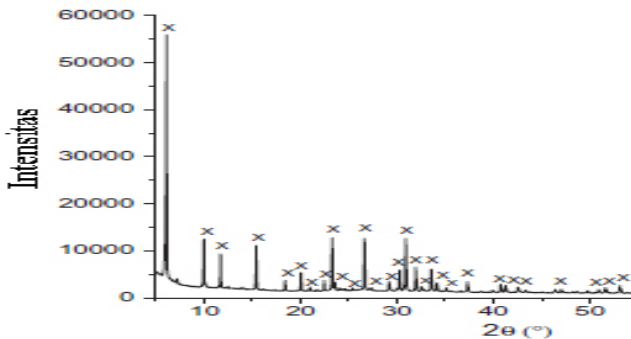
## 2.5 Karakterisasi Zeolit X

### 2.5.1 Difraksi Sinar-X (XRD)

Radiasi sinar X yang dilewatkan melalui sampel suatu zat, akan berinteraksi dengan atom dalam zat tersebut untuk menghasilkan hamburan cahaya. Saat sinar X dihamburkan oleh suatu zat yang memiliki keteraturan seperti kristal, pola difraksi akan dihasilkan karena memiliki gelombang yang sama dengan Sinar X. Melalui prinsip tersebut, instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk mengetahui letak atom atau ion dalam susunan kristal, sehingga dapat mengidentifikasi struktur kristal (Skoog dkk., 2007).



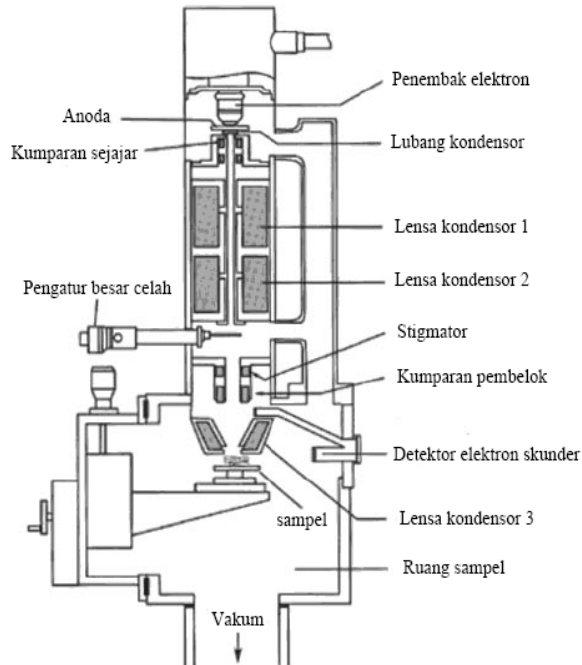
Gambar 2.5 Skema XRD (Cullity dan Stock, 2001).



Gambar 2.6 Hasil pola XRD zeolit X (Izidoro dkk., 2013).

### 2.5.2 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

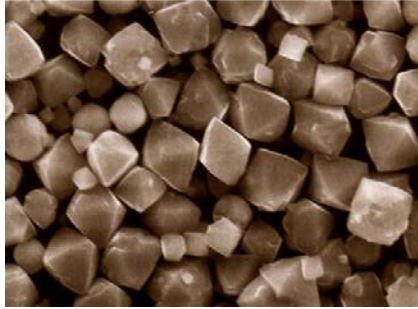
SEM bekerja dengan memanfaatkan sinyal elektron yang didapat pada permukaan padatan dengan menembakkan sinar elektron untuk mengetahui struktur morfologi dan topologi dalam permukaan suatu padatan. Analisis menggunakan SEM sangat berguna untuk mengetahui bentuk permukaan padatan seperti kristal (Mukhopadhyay dan Gupta, 2013)



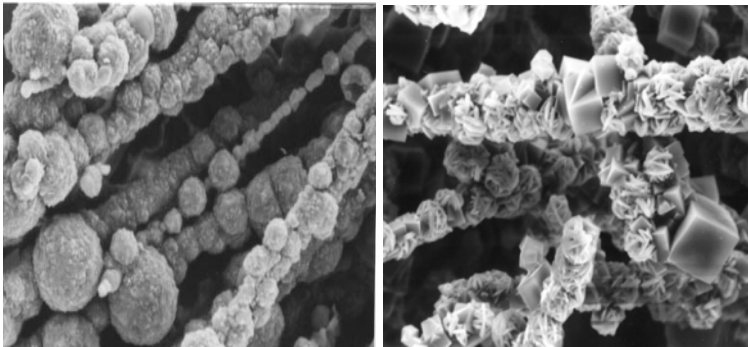
Gambar 2.7 Skema SEM (Mukhopadhyay dan Gupta, 2013).

Contoh hasil SEM material Zeolit X dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa struktur kristal zeolit X berbentuk oktahedral. Dalam penelitian ini, karakterisasi SEM juga digunakan untuk melihat kristal zeolit yang menempel pada material pendukung berupa serat. Hasil SEM pada Gambar 2.10 (a) menunjukkan bahwa zeolit A yang menempel pada serat

telah tercampur dengan kristal zeolit X dan Sodalit, sedangkan pada gambar (b) menunjukkan kristal zeolit X pada serat yang *overgrowth* menjadi sodalit.



Gambar 2.8 Hasil SEM zeolit X (Purnomo dkk., 2010).



(a)

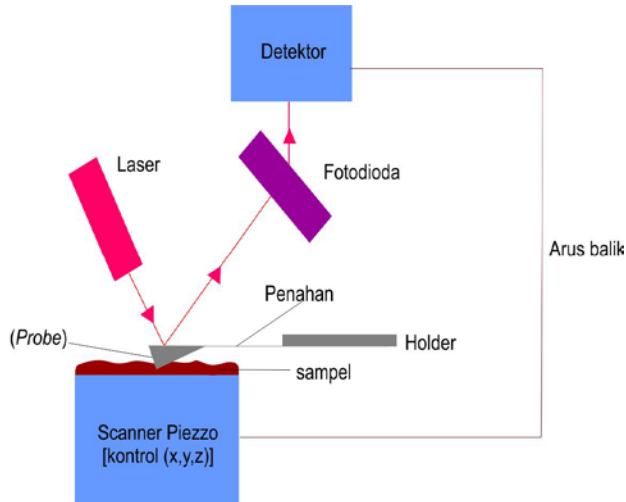
(b)

Gambar 2.9 Hasil SEM sintesis zeolit berpendukung material serat (Okada<sup>a</sup> dkk., 1997 dan Okada<sup>b</sup> dkk., 2000).

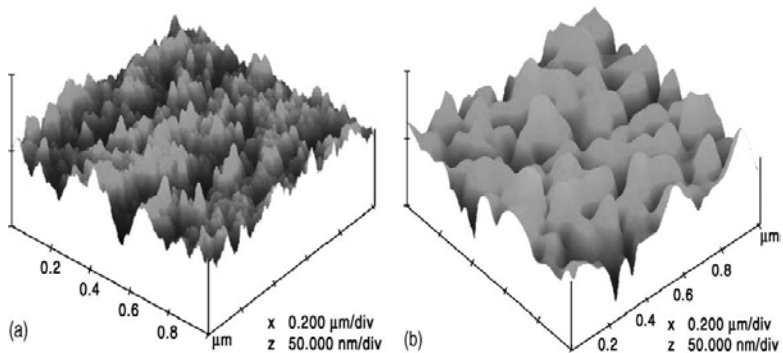
### 2.5.3 AFM (*Atomic Force Microscopy*)

AFM dapat menunjukkan topografi permukaan dalam bentuk tiga dimensi (3D) dalam skala nanometer. Prinsip kerja AFM berdasarkan gaya interaksi antara atom dan molekul. Sebuah jarum (*probe*) tajam pada AFM akan bergerak menyentuh permukaan suatu sampel pada jarak antara 0,2 – 10 nm (Paredes

dkk., 2003). Gaya interaksi antara jarum (*probe*) dan permukaan suatu sampel akan terdeteksi oleh detektor yang akan diolah untuk menjadi bentuk tiga dimensi.



Gambar 2.10 Skema kerja AFM.



Gambar 2.11 Hasil gambar AFM dalam bentuk tiga dimensi untuk permukaan membran alumina yang dikalsinasi pada suhu (a) 1073 K dan (b) 1373 K (Cortalezzi dkk., 2002 dalam Paredes dkk., 2003).

Dalam penelitian ini, analisis menggunakan AFM digunakan untuk mengetahui pengaruh aktivasi terhadap struktur topografi permukaan serat. Pada Gambar 2.11 merupakan contoh penggunaan analisis AFM untuk melihat permukaan membran yang berbeda kondisi kalsinasi secara tiga dimensi. Selain itu, daerah terang-gelap juga menunjukkan tinggi-rendahnya permukaan dari membran.

#### **2.5.4 Analisis Adsorpsi Gas**

Metode analisis gas biasanya digunakan untuk karakterisasi material berpori untuk aplikasi katalis maupun penyimpanan gas. Prinsip yang digunakan adalah adsorpsi gas pada permukaan material padatan untuk analisis struktur dan permukaan pori. Material padatan berpori berperan sebagai adsorben terhadap adsorbat berupa gas seperti nitrogen ( $N_2$ ), kripton (Kr), merkuri (Hg) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Hasil analisis adsorpsi gas dapat menunjukkan distribusi ukuran pori, volume pori total, ukuran pori rata-rata, distribusi ukuran partikel dan luas permukaan spesifik (Bansal dan Goyal, 2005 ; Sing dan Gregg, 1982).

Zeolit merupakan suatu material padatan dengan jenis pori mikropori hingga mesopori (Dong dkk., 2007). Analisis gas pada jenis pori tersebut, biasanya dilakukan menggunakan jenis gas nitrogen atau krypton karena bersifat *inert* yang tidak akan mempengaruhi pengukuran. Selanjutnya, untuk menentukan luas permukaan spesifik padatan, maka diperlukan perhitungan lanjutan menggunakan persamaan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*). Dasar dari munculnya teori isothermal BET berdasarkan asumsi bahwa isothermal langmuir dapat terjadi di tiap lapisan hingga terbentuk lapisan *multilayer*. Lapisan pertama molekul yang terserap pada adsorben bertindak sebagai unit dasar untuk adsorpsi pada lapisan kedua. Selanjutnya lapisan kedua tersebut akan menjadi unit dasar untuk adsorpsi pada lapisan ketiga dan seterusnya (Jankowska dkk., 1991). Isothermal BET mengikuti bentuk persamaan di bawah ini:



$$\frac{P}{n(P_0 - P)} = \frac{1}{n_m - c} + \frac{c - 1}{n_m - c} \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

$P/P_0$  merupakan tekanan uap relatif,  $n$  merupakan jumlah mol yang teradsorpsi pada tekanan  $P$ ,  $n_m$  merupakan kapasitas lapisan *monolayer* dalam mol, dan  $c$  merupakan konsentrasi kesetimbangan. Luas permukaan spesifik dalam isothermal BET dapat dihitung melalui persamaan :

$$S_{\text{BET}} = \frac{V_m}{22400} N \cdot a_m \cdot 10^{-18} \text{ m}^2/\text{g} \quad (2.2)$$

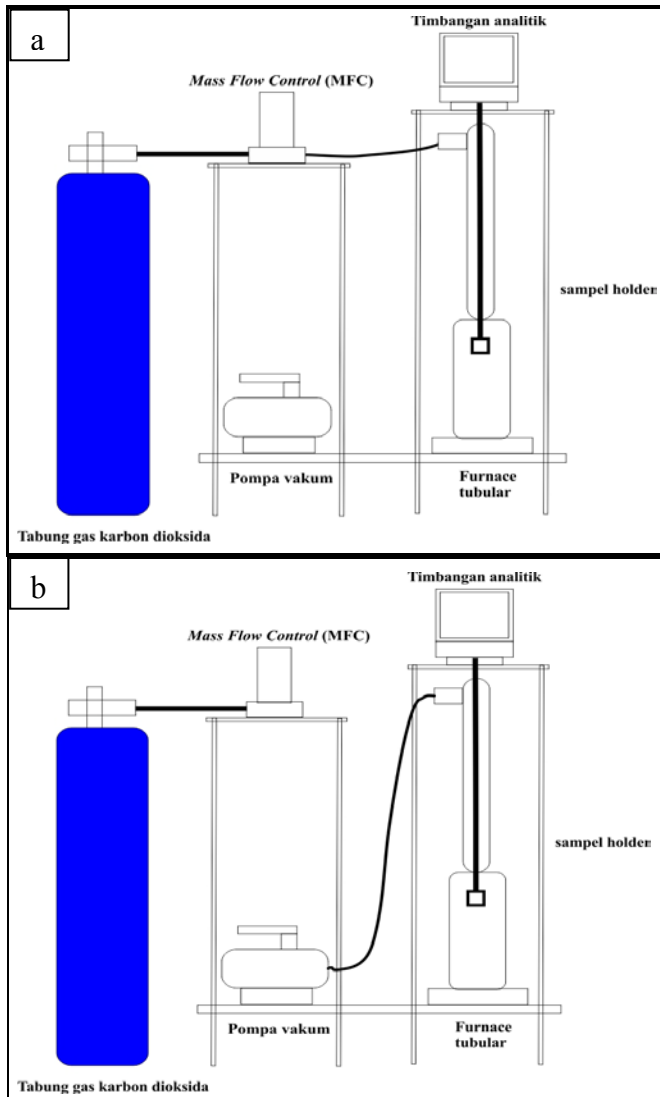
$N$  adalah bilangan avogadro,  $V_m$  merupakan volume gas teradsorpsi per gram adsorben, dan  $a_m$  merupakan luas permukaan adsorben ( $\text{nm}^2$ ) per molekul. Luas permukaan spesifik biasanya ditentukan dengan adsorpsi nitrogen saat 77 K menggunakan luas molekular nitrogen sebesar  $0,162 \text{ nm}^2$  (Bansal dan Goyal, 2005).

## 2.6 Pengukuran Adsorpsi $\text{CO}_2$ Secara Gravimetri

Kapasitas adsorpsi gas karbon dioksida dalam zeolit A dapat diukur secara gravimetri melalui pengukuran massa sampel pada setiap perubahan tekanan  $\text{CO}_2$ . Pengukuran secara gravimetri dinyatakan dalam % berat sesuai persamaan 2.1.

$$\% \text{ berat} = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana  $m_t$  adalah massa sampel setelah diadsorpsikan gas  $\text{CO}_2$  sedangkan  $m_0$  adalah massa sampel awal. Pengukuran adsorpsi  $\text{CO}_2$  secara gravimetri dapat dilakukan dengan rangkaian alat yang terdiri dari timbangan analitik, tabung *furnace*, pompa vakum, *mass flow control* (MFC), *sampel holder* dan tabung gas  $\text{CO}_2$  (Gambar 2.13).



Gambar 2.12 Skema kerja pengukuran adsorpsi secara gravimetri  
(a) saat proses *degassing* (b) saat proses adsorpsi.

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Alat dan Bahan**

#### **3.1.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan botol dan gelas polipropilena (PP), seperangkat hot plate-stirer, pengaduk magnetik, reaktor hidrotermal (*stainless steel autoclave*), oven, pH meter, seperangkat alat adsorpsi gas dengan metode gravimetri, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Atomic Force Microscopy* (AFM), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Chemisorption Analyzer* (*Quantachrome Autosorb iQwin*).

#### **3.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air demineralisasi, padatan natrium aluminat, larutan natrium silikat, pelet NaOH (99% p.a), serat gelas (*glass wool*) sebagai material serat, gas karbon dioksida *Ultra High Purity* (UHP) (99,99% CO<sub>2</sub>).

### **3.2 Prosedur Kerja**

#### **3.2.1 Variasi Waktu Perendaman NaOH pada Aktivasi Serat Gelas**

Material pendukung berupa serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat gelas. Proses aktivasi dilakukan terlebih dahulu terhadap serat gelas dengan larutan NaOH. Serat gelas ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian direndam menggunakan larutan NaOH 4M sebanyak 20 mL dalam wadah polipropilena. Proses aktivasi dilakukan dengan variasi waktu perendaman selama 6 jam, 1 hari, 3 hari, 7 hari dan 30 hari pada suhu ruang. Selanjutnya, serat gelas dicuci dengan air demineralisasi hingga pH 7 dan dikeringkan pada suhu 100°C hingga massa mencapai konstan. Serat gelas yang telah teraktivasi, kemudian diberi nama

SW-6J (aktivasi 6 jam) ; SW-1H (aktivasi 1 hari) ; SW-3H (aktivasi 3 hari) ; SW-7H (aktivasi 7 hari) dan SW-30H (aktivasi 30 hari).

### **3.2.2 Variasi Konsentrasi NaOH pada Aktivasi Serat Gelas**

Serat gelas ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian dimasukkan ke dalam wadah polipropilena. Setelah itu, serat gelas direndam menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi sebesar 1M, 4M, dan 8M selama 1 hari pada suhu ruang. Selanjutnya, serat gelas dicuci dengan air demineralisasi hingga pH 7 dan dikeringkan pada suhu 100°C hingga massa mencapai konstan. Serat gelas hasil variasi konsentrasi NaOH, kemudian diberi nama SK-1M (aktivasi 1M) ; SK-4M (aktivasi 4M) dan SK-8M (aktivasi 8M).

### **3.2.3 Sintesis Zeolit X pada Permukaan Serat Gelas Teraktivasi**

Pada penelitian ini, dilakukan sintesis zeolit X dengan perbandingan komposisi molar  $4 \text{ Na}_2\text{O} : 0,2 \text{ Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : 200 \text{ H}_2\text{O}$ . Larutan zeolit X dibuat dengan melalui beberapa tahapan. Pertama, padatan NaOH berbentuk pelet dilarutkan dalam air demineralisasi, kemudian dibagi menjadi dua bagian yaitu larutan NaOH 1 dan larutan NaOH 2. Larutan NaOH 1 dicampur dengan  $\text{NaAlO}_2$ , sedangkan larutan NaOH 2 dicampur dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Kedua jenis larutan masing-masing diaduk dengan kecepatan konstan hingga larutan jernih pada suhu ruang ( $\pm 10$  menit). Setelah itu, kedua larutan dicampur dan diaduk kembali secara konstan selama 3 jam.

Tahapan selanjutnya adalah memasukkan larutan zeolit X ke dalam reaktor hidrotermal. Serat gelas yang telah teraktivasi dengan variasi lama perendaman NaOH (SW-6J; SW-1H; SW-3H; SW-7H; SW-30H) dan konsentrasi NaOH (SK-1M; SK-4M; SK-8M) sebanyak 0,024% berat, dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal yang telah berisi larutan zeolit X dan dilakukan proses hidrotermal pada kondisi suhu 110°C selama 15 jam.

Material hasil sintesis hidrotermal tersebut dicuci dengan air demineralisasi hingga pH 8, kemudian dikeringkan pada suhu 100°C sampai massa sampel mencapai konstan. Material zeolit X berpendukung serat hasil sintesis dengan variasi kondisi aktivasi serat diberi nama sebagai berikut :

Tabel 3.1 Penamaan zeolit X berpendukung serat hasil sintesis

<b>Variasi waktu aktivasi</b>	<b>Nama sampel</b>
Zeolit X serat-aktivasi 6 jam	ZXS-W6J
Zeolit X serat-aktivasi 1 hari	ZXS-W1H
Zeolit X serat-aktivasi 3 hari	ZXS-W3H
Zeolit X serat-aktivasi 7 hari	ZXS-W7H
Zeolit X serat-aktivasi 30 hari	ZXS-W30H
<b>Variasi konsentrasi aktivasi</b>	<b>Nama sampel</b>
Zeolit X serat-aktivasi 1M	ZXS-K1M
Zeolit X serat-aktivasi 4M	ZXS-K4M
Zeolit X serat-aktivasi 8M	ZXS-K8M

Untuk membandingkan zeolit X yang tumbuh pada permukaan serat, dilakukan sintesis zeolit X tanpa pendukung serat. Tahapan sintesis sama dengan sintesis zeolit X berpendukung serat, yang membedakan adalah saat larutan zeolit dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal, serat teraktivasi tidak dimasukkan ke dalamnya. Hasil sintesis zeolit X tanpa pendukung serat, diberi nama ZX.

### 3.2.4 Karakterisasi Zeolit X pada Permukaan Serat Gelas Teraktivasi

Teknik karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain XRD, AFM, SEM dan analisis adsorpsi gas N<sub>2</sub>. Hasil karakterisasi zeolit X berpendukung material serat (ZXS) dibandingkan dengan zeolit X tanpa pendukung serat (ZX) untuk melihat persamaan kristalinitas dengan menggunakan instrumen XRD. Karakterisasi XRD digunakan untuk melihat adanya fase kristal pada padatan zeolit X berpendukung serat dan zeolit X

tanpa pendukung serat. Karakterisasi AFM digunakan untuk melihat kerusakan struktur serat serat gelas yang digunakan sebagai material pendukung. Sedangkan karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi kristal zeolit X pada permukaan serat. Karakter pori dari zeolit X berpendukung material serat dapat dianalisis menggunakan metode adsorpsi isothermal  $N_2$ , sehingga dapat dihitung luas permukaannya menggunakan persamaan Brunauer-Emmet-Teller (BET).

### **3.2.5 Penentuan Kapasitas Penyerapan Karbon Dioksida**

Pengujian kapasitas penyerapan karbon dioksida dilakukan pada sampel zeolit X (ZX), zeolit X serat aktivasi 4M 1 hari (ZXS-4M1H) dan zeolit X serat aktivasi 1M 1 Hari (ZXS-1M1H). Ketiga jenis sampel diambil sebanyak 1 gram, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam. Setelah itu, didinginkan hingga suhu ruang dan disimpan dalam desikator.

Masing-masing sampel yang telah dikeringkan, diambil lagi sebanyak 0,5 gram dan dimasukkan ke dalam sampel holder yang telah steril. Sampel kemudian didegas dalam kondisi vakum menggunakan furnace tubular pada suhu  $350^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam. Furnace tubular kemudian dimatikan dan suhu sistem dibiarkan hingga mencapai suhu ruang ( $\pm 29^{\circ}\text{C}$ ). Berat sampel diamati hingga konstan, lalu dicatat sebagai berat awal ( $m_0$ ). Mass Flow Control (MFC) dinyalakan, lalu ditunggu hingga menunjukkan angka nol. Laju aliran gas karbon dioksida diatur 20 mL/menit menggunakan MFC. Knop tabung gas  $\text{CO}_2$  dibuka hingga gas dapat mengalir secara perlahan. Pengamatan dilakukan setiap 5 menit terhadap perubahan berat sebagai berat akhir setelah adsorpsi ( $m_t$ ) selama 100 menit.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

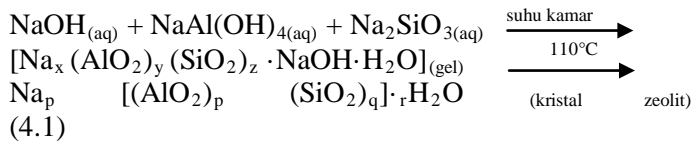
Pada hasil dan pembahasan akan dijelaskan mengenai pengaruh kondisi waktu perendaman dan konsentrasi NaOH pada aktivasi serat gelas terhadap pertumbuhan kristal zeolit X pada permukaan material pendukung serat. Studi pengaruh kondisi aktivasi serat gelas terhadap zeolit X berpendukung material serat dilakukan berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), AFM (*Atomic Force Microscopy*) dan Analisis adsorpsi gas menggunakan metode BET (*Brenauer-Emmet-Teller*). Pengujian kapasitas penyerapan karbon dioksida dilakukan secara gravimetri terhadap zeolit X dan zeolit X berpendukung material serat.

#### **4.1 Pengaruh Kondisi Aktivasi Serat gelas Terhadap Zeolit X Berpendukung Material Serat**

Penelitian ini diawali dengan melakukan aktivasi terhadap serat gelas yang akan digunakan dalam sintesis zeolit X sebagai material pendukung. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Rella, 2013), serat gelas yang digunakan, diaktivasi terlebih dahulu menggunakan larutan NaOH. Serat gelas yang telah teraktivasi, ditambahkan sejumlah 0,024% berat ke dalam larutan zeolit. Pada penelitian ini, kondisi aktivasi serat gelas divariasikan dalam hal lama aktivasi dan konsentrasi NaOH.

Sintesis zeolit X berpendukung material serat dilakukan dengan membuat larutan zeolit X terlebih dahulu dengan rasio komposisi molar sesuai dengan penelitian Zhang<sup>a</sup> dkk. (2013). Prekursor yang digunakan untuk membuat larutan zeolit X adalah  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH, serta air demineralisasi sebagai pelarut. Seluruh prekursor kemudian diaduk selama 3 jam supaya larutan zeolit X menjadi homogen. Proses selanjutnya adalah memasukkan serat gelas dengan variasi kondisi aktivasi ke dalam autoklaf untuk hidrotermal selama 15 jam pada suhu  $110^\circ\text{C}$ . Saat

proses hidrotermal, terjadi proses kristalisasi zeolit X pada permukaan serat gelas. Kondisi hidrotermal ini berdasarkan penelitian Okada<sup>b</sup> dkk. (2000) yang melakukan sintesis zeolit X berpendukung campuran serat kaca  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (SA) dan serat kaca  $\text{SiO}_2$  (SO), serta penelitian Purnomo dkk. (2012) yang melakukan sintesis zeolit X dari abu layang ampas tebu. Reaksi yang terjadi pada proses pembentukan kristal zeolit dilihat pada persamaan 4.1 berikut ini berdasarkan Ojha dkk. (2004).



Hasil hidrotermal berupa padatan putih yang kemudian disaring, serta dicuci dengan air demineralisasi hingga  $\text{pH} < 8$ . Pencucian dilakukan untuk menghilangkan sisa NaOH yang bersifat basa. Setelah itu, padatan dikeringkan dalam oven sampai berat mencapai konstan untuk menghilangkan kandungan air yang terikat secara fisik akibat proses pencucian sebelumnya.



Gambar 4.1 a) larutan zeolit sebelum proses hidrotermal, b) setelah proses hidrotermal, c) zeolit X serat setelah proses pengeringan.

Kondisi aktivasi serat gelas memiliki pengaruh pada kristal zeolit yang tumbuh di permukaan serat. Penelitian ini menggunakan variasi waktu perendaman dan konsentrasi NaOH dalam aktivasi serat yang didasarkan pada penelitian sebelumnya (Yamazaki dkk., 1995 ; Okada<sup>a</sup> dkk., 1997, Okada<sup>c</sup> dkk., 2004 ;



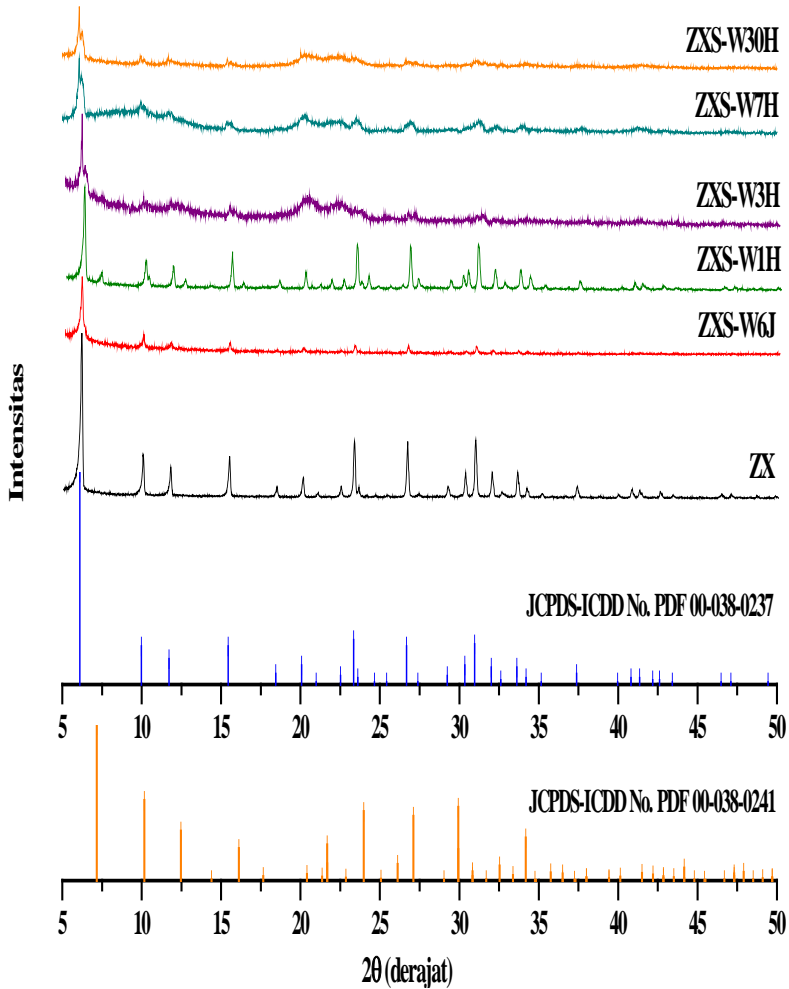
Jiang dkk., 2012). Variasi kondisi aktivasi pada serat gelas dilakukan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap pertumbuhan kristal zeolit X pada permukaan material pendukung berupa serat gelas.

#### **4.1.1 Pengaruh Waktu Aktivasi Serat gelas**

Hasil karakterisasi dengan XRD digunakan untuk menentukan fasa zeolit yang terbentuk pada permukaan serat akibat pengaruh lama aktivasi pada serat gelas. Difraktogram zeolit X berpendukung serat (ZXS) dengan variasi lama aktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 secara berturut-turut yaitu standar zeolit A no. PDF 00-038-0241, standar zeolit X no. PDF 00-038-0237, zeolit X tanpa pendukung serat (ZX), aktivasi 6 jam (ZXS-W6J), (b) aktivasi 1 hari (ZXS-W1H), (c) aktivasi 3 hari (ZXS-W3H), (d) aktivasi 7 hari (ZXS-W7H) dan (e) aktivasi 30 hari (ZXS-W30H).

Gambar 4.2 merupakan hasil karakterisasi menggunakan XRD. Difraktogram hasil sintesis zeolit X berpendukung serat dicocokkan dengan standar zeolit Na-X (JCPDS-ICDD No. PDF 00-038-0237) dan standar zeolit NaA (JCPDS-ICDD No. PDF 00-038-0241). Difraktogram ZX, ZXS-W6J, ZXS-W1H, ZXS-W3H, ZXS-W7H dan ZXS-W30H memiliki puncak karakteristik zeolit NaX pada  $2\theta = 6,10^\circ$  sesuai dengan tabel identifikasi zeolit dalam International Zeolit Association (IZA) (Treacy dan Higgins, 2001). Pada difraktogram ZXS-W6J dan ZXS-W1H, beberapa puncak yang muncul telah sesuai dengan standar zeolit X pada  $2\theta = 6,10^\circ$  ;  $9,98^\circ$  ;  $11,72^\circ$  ;  $15,45^\circ$  ;  $23,34^\circ$  ;  $26,68^\circ$  dan  $30,97^\circ$  (PDF nomer 00-038-0237). Pada ZXS-W1H muncul puncak karakteristik zeolit A pada  $2\theta = 7,18^\circ$  dengan intensitas sangat rendah, sehingga pada ZXS-W1H terdapat fasa campuran zeolit X dan zeolit A. Tetapi, intensitas puncak khas zeolit X pada ZXS-W1H lebih tinggi jika dibandingkan dengan ZXS-W6J. Sedangkan pada difraktogram ZXS-W3H, ZXS-W7H dan ZXS-W30H, puncak khas zeolit X hanya muncul pada  $2\theta = 6,10^\circ$  dan intensitas puncak khas tersebut semakin menurun dari aktivasi 3

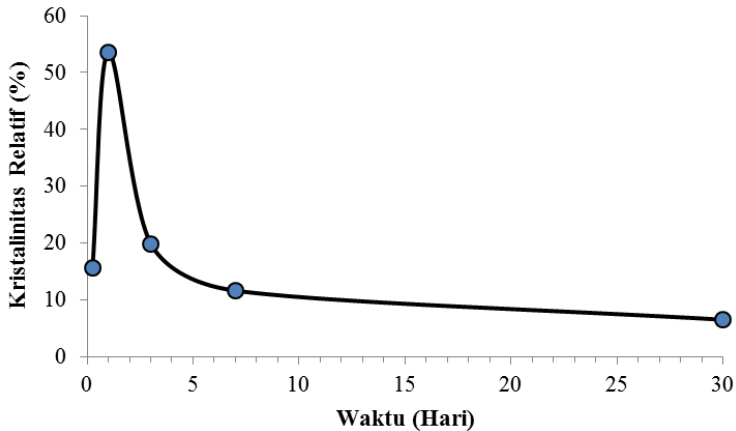
hari hingga ke aktivasi 30 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa kristal zeolit X berpendukung serat dengan waktu aktivasi 3 hari, 7 hari dan 30 hari masih belum kristalin dibandingkan zeolit X berpendukung serat dengan waktu aktivasi 1 hari.



Gambar 4.2 Pola XRD zeolit X berpendukung serat gelas hasil

sintesis dengan variasi waktu aktivasi.

Grafik tingkat kristalinitas relatif terhadap zeolit X standar (Gambar 4.3), menunjukkan bahwa persentase kristalinitas zeolit X berpendukung serat meningkat dari waktu aktivasi 6 jam sampai 1 hari. Selanjutnya, persentase kristalinitas zeolit X berpendukung serat semakin menurun saat waktu aktivasi bertambah dari 3 hari hingga 30 hari.

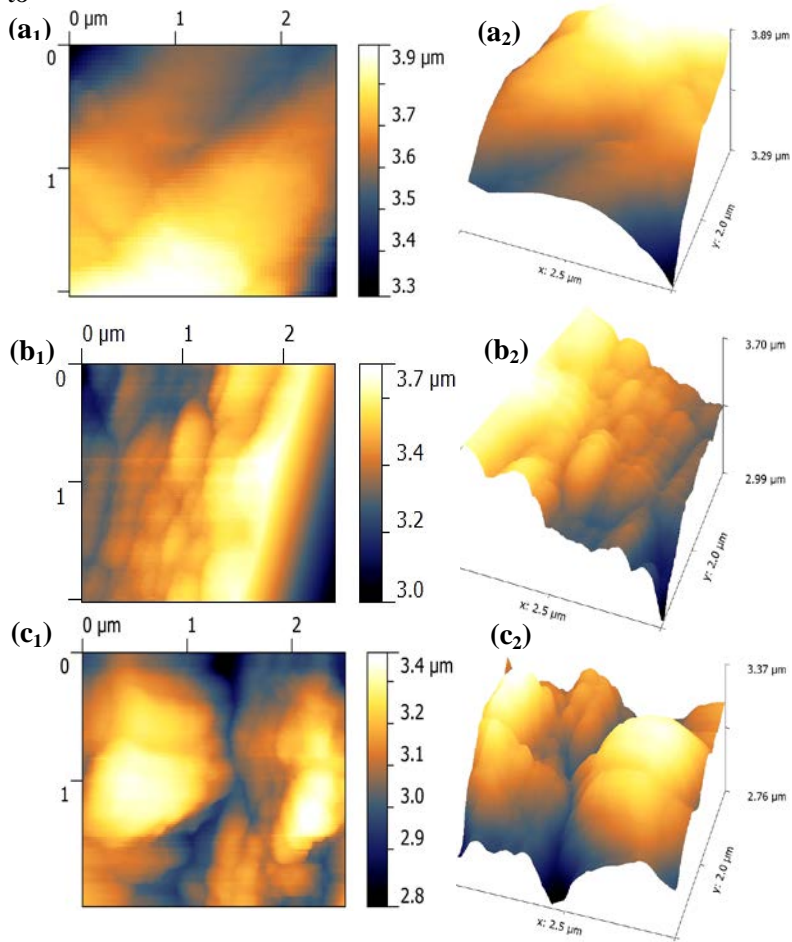


Gambar 4.3 Grafik pengaruh waktu aktivasi terhadap kristalinitas zeolit X berpendukung material serat.

Penurunan intensitas puncak beserta persentase kristalinitas pada zeolit X berpendukung serat aktivasi 3 hari, 7 hari dan 30 hari dapat diakibatkan oleh pengaruh aktivasi larutan NaOH terhadap serat gelas. Aktivasi pada serat gelas bertujuan untuk merusak permukaan serat dan mengeluarkan fasa silika yang terkandung dalam serat gelas (Achchaq dkk., 2009 ; Izidoro dkk., 2013). Pengaruh lama aktivasi terhadap rusaknya permukaan serat gelas tersebut dapat dikonfirmasi menggunakan instrumen AFM untuk mengetahui topografi permukaan pada serat gelas.

Hasil topografi permukaan serat sebelum diaktivasi dan setelah diaktivasi menggunakan NaOH tertera pada Gambar 4.4. Daerah berwarna terang-gelap pada gambar AFM menunjukkan

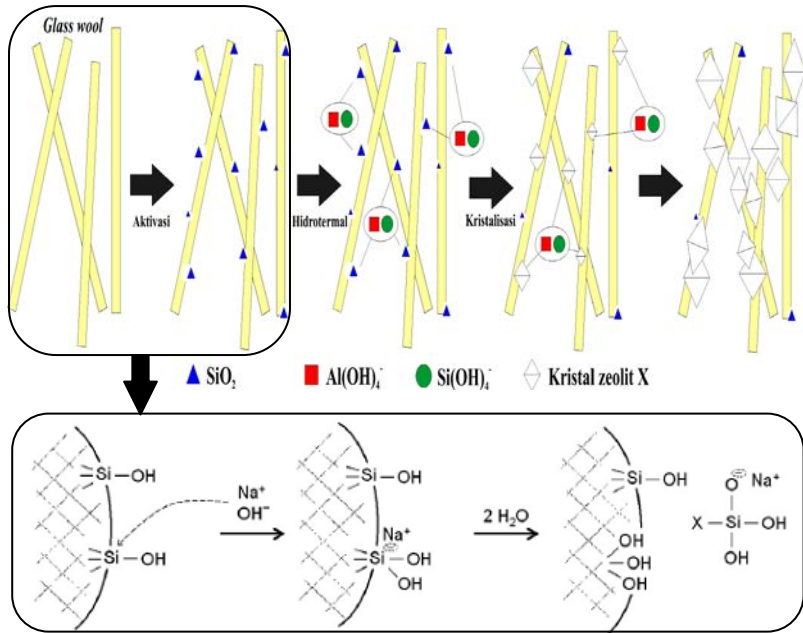
tinggi-rendahnya permukaan serat gelas atau biasa disebut dengan topografi permukaan.



Gambar 4.4 Topografi permukaan serat gelas : (a<sub>1</sub>) sebelum aktivasi, (b<sub>1</sub>) aktivasi 1 hari, (c<sub>1</sub>) aktivasi 30 hari dan gambar AFM tiga dimensi serat gelas : (a<sub>2</sub>) sebelum aktivasi, (b<sub>2</sub>) aktivasi 1 hari, (c<sub>2</sub>) aktivasi 30 hari.

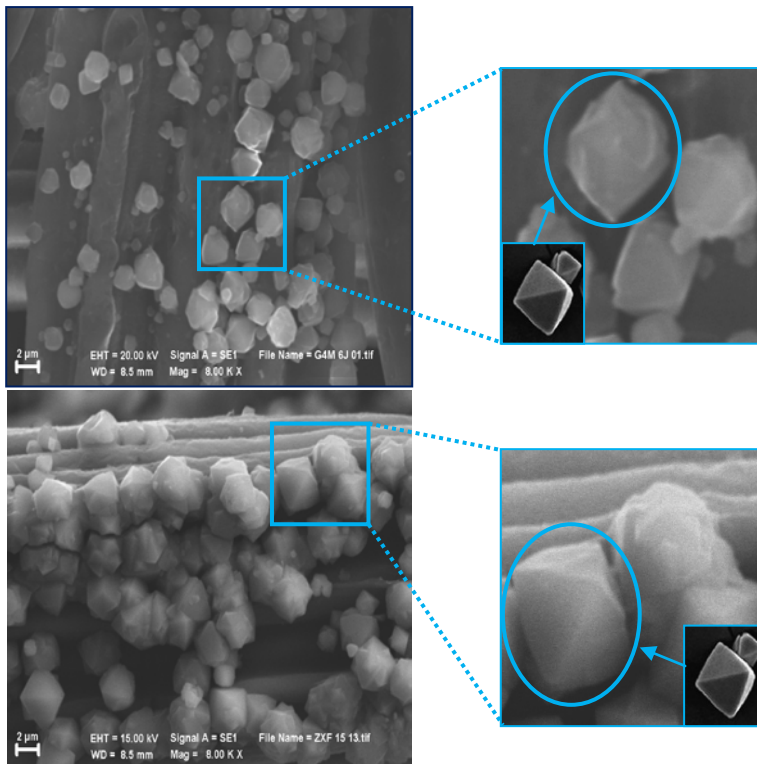
Pada gambar AFM secara tiga dimensi, serat gelas dengan aktivasi 30 hari (Gambar 4.4 c<sub>2</sub>) memiliki topografi permukaan paling kasar bila dibandingkan dengan serat gelas tanpa aktivasi dan serat gelas dengan aktivasi 1 hari. Sehingga, semakin lama proses aktivasi, permukaan serat gelas akan semakin rusak.

Konfirmasi hasil topografi permukaan serat tersebut mendukung hasil difraktogram XRD (Gambar 4.2) bahwa kondisi kekasaran permukaan serat yang diakibatkan oleh variasi lama aktivasi akan mempengaruhi kristal zeolit yang tumbuh pada permukaan serat. Dalam hal ini, permukaan serat yang terlalu rusak akibat aktivasi menggunakan NaOH, akan menghambat pertumbuhan kristal zeolit pada permukaan serat gelas, terbukti dengan hasil difraktogram XRD yang belum kristalin dan terdapat fasa amorf pada ZXS-W3H, ZXS-W7H dan ZXS-W30H. Hal tersebut dapat terjadi akibat interaksi antara NaOH dan fasa silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam serat gelas, yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Ilustrasi mekanisme proses aktivasi serat gelas dan kristalisasi zeolit pada permukaan serat gelas (berdasarkan Yamazaki, 1995 dan Groen, 2007).

Semakin lama proses aktivasi menggunakan NaOH, maka semakin lama pula fasa silika akan berinteraksi dengan gugus OH, sehingga kemungkinan fasa silika tersebut justru bertambah rusak dan mengakibatkan kristal zeolit tidak tumbuh. Sementara itu, sampel zeolit X berpendukung material serat dengan aktivasi 1 hari (Gambar 4.2 ZXS-W1H), memiliki intensitas puncak paling tinggi, sehingga kondisi waktu aktivasi paling optimal untuk sintesis zeolit X berpendukung serat adalah selama 1 hari.



Gambar 4.6 Mikrograf SEM hasil sintesis zeolit X berpendukung

material serat (a) ZXS-W6J (b) ZXS-W1H [Gambar sisipan : mikrograf bentuk kristal zeolit X berdasarkan Lee dkk. (2007)].

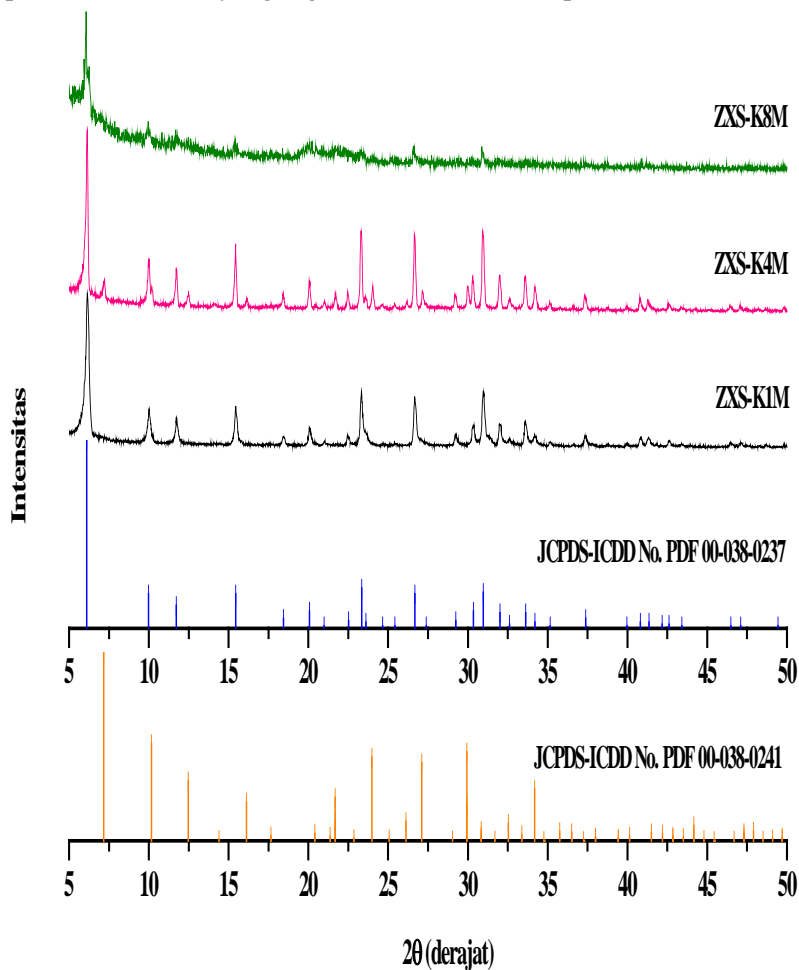
Karakterisasi morfologi permukaan zeolit X berpendukung material serat dilakukan untuk mengetahui kristal zeolit yang menempel pada permukaan serat sebagai konfirmasi hasil difraktogram XRD. Gambar 4.6, menunjukkan hasil mikrograf SEM ZXS-W6J dan ZXS-W1H. Berdasarkan referensi penelitian sebelumnya (Lee dkk., 2007 ; Purnomo dkk., 2012), zeolit X memiliki kristal oktahedral berbentuk kotak. Pada mikrograf ZXS-W6J, masih terdapat kristal berbentuk agregat yang tumbuh pada permukaan serat gelas. Sedangkan pada mikrograf SEM ZXS-W1H, bentuk kristal zeolit yang menempel pada permukaan serat merupakan kristal oktahedral berbentuk kotak,. Morfologi zeolit X pada permukaan serat gelas tersebut telah memperkuat hasil difraktogram XRD bahwa sampel dengan aktivasi 1 hari memiliki tingkat kristalinitas paling tinggi dengan bentuk kristal zeolit X merupakan kristal oktahedral berbentuk kotak.

#### **4.1.2 Pengaruh Konsentrasi NaOH dalam Aktivasi Serat gelas**

Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 4.7, menunjukkan pengaruh konsentrasi NaOH terhadap intensitas puncak khas zeolit X pada  $2\theta = 6,10^\circ ; 9,98^\circ ; 11,72^\circ ; 15,45^\circ ; 23,34^\circ ; 26,68^\circ$  dan  $30,97^\circ$ . Difraktogram XRD tersebut (Gambar 4.7) menunjukkan bahwa intensitas puncak khas zeolit X berpendukung serat gelas semakin meningkat hingga konsentrasi aktivasi mencapai 4M, kemudian menurun saat konsentrasi dinaikkan hingga 8M. Sesuai dengan penelitian Jiang dkk. (2012) menyebutkan bahwa konsentrasi larutan NaOH yang digunakan untuk aktivasi serat gelas dapat mempengaruhi kristalinitas zeolit X yang menempel pada permukaan serat.

Penurunan intensitas puncak khas zeolit X saat konsentrasi 8M dapat diakibatkan karena struktur permukaan

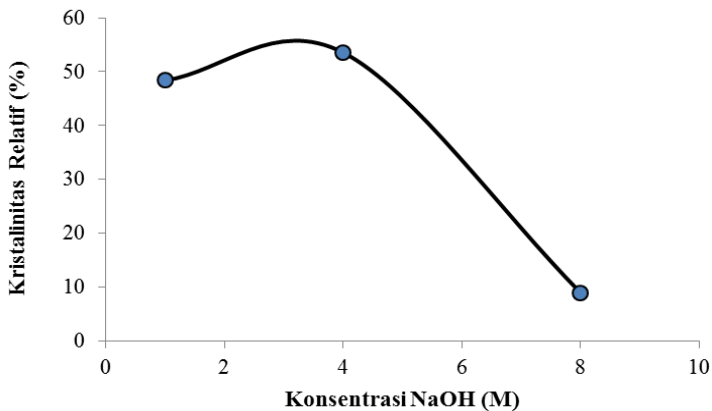
serat gelas sudah terlalu rusak akibat konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi, sehingga kristal zeolit tidak bisa tumbuh secara optimal pada permukaan serat. Hasil tersebut memiliki pola sama dengan penelitian sebelumnya terhadap zeolit A berpendukung serat (Okada<sup>a</sup> dkk., 1997), yang menyebutkan bahwa tidak ada fasa zeolit yang terbentuk saat konsentrasi NaOH untuk perendaman serat yang digunakan untuk mencapai 8M-10M.





Gambar 4.7 Difraktogram zeolit X berpendukung serat gelas teraktivasi dengan variasi konsentrasi NaOH.

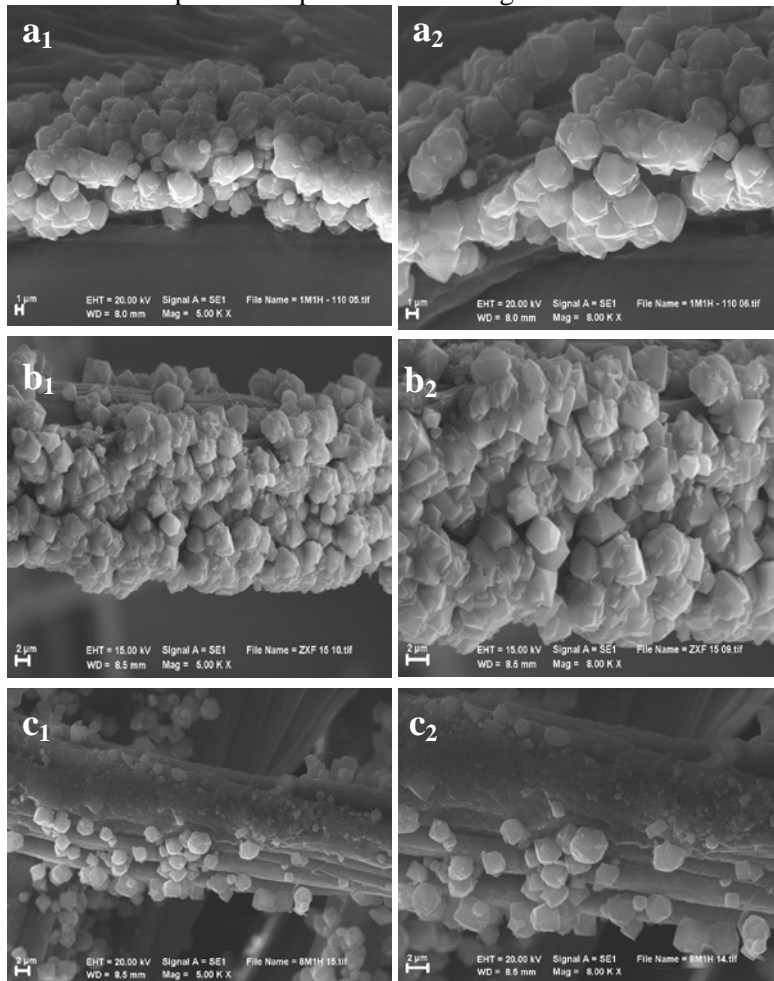
Pola kenaikan intensitas puncak khas zeolit X berpendukung material serat pada Gambar 4.7, hampir sama dengan pola kenaikan persentase kristalinitas relatif terhadap zeolit X tanpa serat (ZX) yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Persentase kristalinitas relatif terus meningkat hingga konsentrasi NaOH mencapai 4M, kemudian kembali menurun saat konsentrasi NaOH dinaikkan hingga 8M (Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Grafik pengaruh konsentrasi NaOH saat aktivasi serat terhadap kristalinitas zeolit X berpendukung material serat.

Sesuai dengan difraktogram (Gambar 4.7) dan grafik kristalinitas relatif (Gambar 4.8), menunjukkan bahwa zeolit X berpendukung serat dengan konsentrasi aktivasi 4M memiliki kristal zeolit X dengan kristalinitas paling tinggi. Hal tersebut dapat dikonfirmasi dengan karakterisasi morfologi pada permukaan zeolit X berpendukung material serat. Pada Gambar 4.9 merupakan hasil mikrograf SEM zeolit X berpendukung material serat yaitu ZXS-K1M, ZXS-K4M dan ZXS-K8M. Kristal zeolit X pada mikrograf SEM ZXS-K4M dapat tumbuh dan menutupi seluruh permukaan serat gelas, sedangkan kristal

zeolit X pada mikroskop SEM ZXS-K1M dan ZXS-K8M masih belum menutupi seluruh permukaan serat gelas.

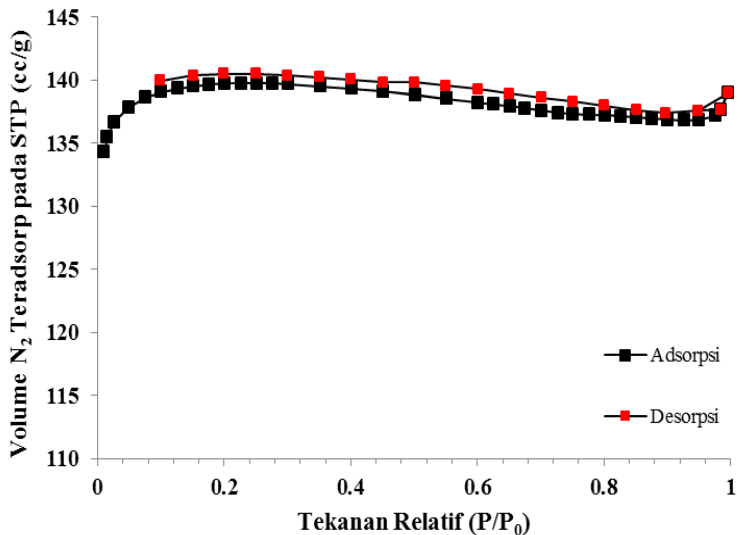


Gambar 4.9 Mikroskop SEM hasil sintesis zeolit X berpendukung material serat perbesaran 5000 kali ( $a_1$ ) ZXS konsentrasi 1M ( $b_1$ ) ZXS konsentrasi 4M ( $c_1$ ) ZXS konsentrasi 8M ; Perbesaran 8000 kali ( $a_2$ ) ZXS

konsentrasi 1M ( $b_2$ ) ZXS konsentrasi 4M ( $c_2$ ) ZXS  
konsentrasi 8M.

#### 4.2 Karakteristik Pori Zeolit X Berpendukung Serat

Analisis adsorpsi gas  $N_2$  dilakukan untuk mengetahui luas permukaan dan karakteristik pori dari zeolit X berpendukung serat dengan kristalinitas paling tinggi, yaitu pada kondisi aktivasi serat 4M selama 1 hari (ZXS-K4M). Hasil analisis adsorpsi-desorpsi  $N_2$  dari ZXS-K4M dapat dilihat pada Gambar 4.10. Grafik adsorpsi-desorpsi tersebut digunakan untuk menunjukkan secara kualitatif mekanisme adsorpsi dan struktur pori pada ZXS-K4M.



Gambar 4.10 Grafik adsorpsi-desorpsi isotherm  $N_2$  dari ZXS-K4M (aktivasi 4M 1 hari) pada kondisi STP.

Grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10, tipe isotherm dari ZXS-K4M merupakan gabungan dari tipe I dan IV. Grafik isotherm tipe 1 ditandai dengan adanya adsorpsi sejumlah besar  $N_2$  pada tekanan relatif ( $P/P_0$ ) yang sangat rendah. ZXS-K4M dapat menyerap gas  $N_2$  pada  $P/P_0$  yang rendah ( $P/P_0 < 0,3$ )

menunjukkan bahwa sampel memiliki karakteristik mikropori (Deng dkk., 2010). Karakteristik loop histerisis pada Gambar 4.10 mengindikasikan grafik isoterm tipe IV. Loop histerisis tersebut menunjukkan pengisian adsorbat pada pori non-mikropori, yang dapat dihubungkan dengan adanya kondensasi kapiler pada pori berukuran meso yang terbentuk pada permukaan padatan ZXS-K4M. Proses adsorpsi  $N_2$  pada  $P/P_0$  antara 0,1- 0,3 yang sangat tinggi, menunjukkan bahwa gas nitrogen telah teradsorpsi dan membentuk monolayer pada permukaan ZXS-K4M. Setelah itu, saat tekanan relatif ( $P/P_0$ ) dinaikkan hingga 0,7, terjadi sedikit penurunan adsorpsi gas  $N_2$  yang dapat diakibatkan oleh lepasnya gas nitrogen akibat distribusi pori rata-rata berukuran meso, yang selanjutnya dapat dikonfirmasi pada hasil karakterisasi pori ZXS-K4M (Tabel 4.1). Pada saat tekanan mencapai 1 atm, material ZXS-K4M sudah tidak mampu lagi mengadsorpsi gas  $N_2$ , sehingga tidak terjadi lagi peningkatan kapasitas adsorpsi gas nitrogen.

Luas permukaan zeolit X berpendukung serat ditentukan dengan menggunakan adsorpsi-desorpsi  $N_2$  menggunakan perhitungan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*). Zeolit X berpendukung serat (ZXS-K4M) hasil sintesis ini, akan digunakan untuk aplikasi penyerapan  $CO_2$ , sehingga karakteristik pori ZXS-K4M perlu dibandingkan dengan material lain yang telah digunakan untuk penyerap gas  $CO_2$ . Hasil analisis luas permukaan dan karakteristik pori dari zeolit X berpendukung serat (ZXS-K4M), serta perbandingannya dengan material lain dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Material zeolit X berpendukung serat memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan zeolit X tanpa serat (Tabel 4.1). Hal tersebut berbanding lurus dengan volume total mikropori pada ZXS-K4M yang lebih kecil jika dibandingkan dengan zeolit NaX atau zeolit CaX. Volume total mikropori pada ZXS-K4M yang sangat kecil dibandingkan zeolit X tanpa serat, menunjukkan bahwa material zeolit X berpendukung serat didominasi oleh pori berukuran meso, dibuktikan dengan diameter pori rata-rata yang mencapai ukuran mesopori sebesar 2

nm. Walaupun pada material zeolit X tanpa serat juga menunjukkan diameter pori rata-rata hingga mencapai 2 nm, volume total mikropori pada kedua jenis zeolit X tanpa serat tersebut lebih tinggi dibandingkan ZXS-K4M disertai dengan luas permukaan yang tinggi pula. Pori berukuran meso yang terdapat pada ZXS-K4M dapat diakibatkan oleh proses aktivasi pada serat gelas, sehingga mempengaruhi ukuran pori zeolit X yang terkristalisasi pada permukaan serat gelas.

Tabel 4.1 Karakteristik pori material untuk penyerapan karbon dioksida

Sampel	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Volume total mikropori (cc/g)	Volume pori total (cc/g)	Diameter pori rata-rata (nm)
<b>Zeolit X serat</b>				
ZXS-K4M	417,541	0,12	0,22	2,06
<b>Zeolit X tanpa serat</b>				
Zeolit NaX (Yi dkk., 2012)	542	0,22	0,38	2,88
Zeolit CaX (Yu dkk., 2013)	877	0,28	0,36	2,27
<b>Material lain</b>				
Karbon aktif (Sun dkk., 2013)	672	0,25	0,30	1,79
MOF-5 (Millward dan Yaghi, 2005)	3800	1,26	3,60	1,2

Pada material lain yang digunakan untuk penyerapan gas CO<sub>2</sub> seperti karbon aktif dan MOF-5 (Tabel 4.1), memiliki luas permukaan yang relatif tinggi dibandingkan ZXS-K4M dan zeolit X tanpa serat. Selain itu, volume total mikropori juga relatif sangat tinggi yang menunjukkan bahwa material MOF dan karbon aktif didominasi oleh mikropori dengan diameter pori rata-rata antara 1,2 nm – 1,7 nm. Hasil perbandingan karakteristik pori antara zeolit X berpendukung serat, zeolit X tanpa serat serta material lain (Tabel 4.1) sebagai material adsorpsi gas CO<sub>2</sub>, dapat

dikatakan bahwa luas permukaan, volume total mikropori dan ukuran pori merupakan beberapa faktor karakteristik pori yang dapat mempengaruhi penyerapan karbon dioksida.

### 4.3 Pengujian Kapasitas Penyerapan Karbon Dioksida

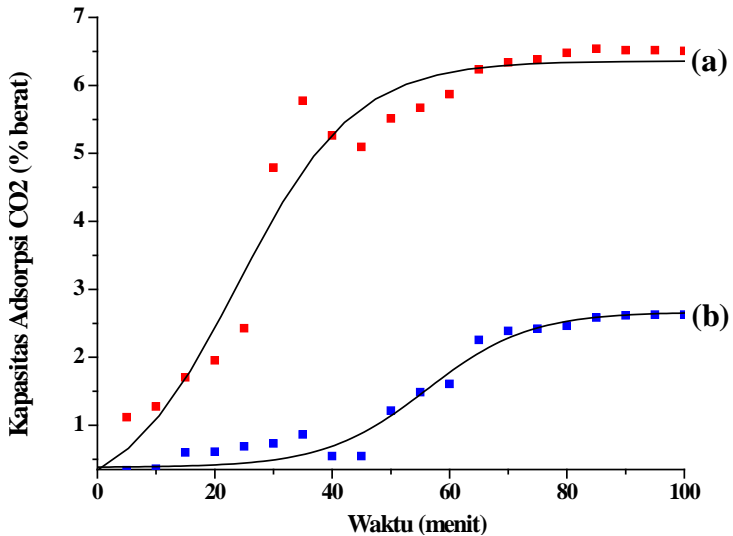
Pada penelitian ini, sintesis zeolit X berpendukung material serat (ZXS) dilakukan untuk aplikasi penyerapan material karbon dioksida. Pengujian kapasitas penyerapan karbon dioksida dilakukan pada zeolit X (ZX) dan zeolit X berpendukung material serat yaitu sampel ZXS. Proses pengukuran kapasitas penyerapan karbon dioksida diuji dengan metode gravimetri pada suhu dan tekanan ruang dengan mengamati perubahan massa sampel akibat aliran gas karbon dioksida selama 100 menit.

Sebelum dilakukan pengujian kapasitas penyerapan gas karbon dioksida, sampel terlebih dahulu dipanaskan untuk menghilangkan kandungan air yang terperangkap dalam material. Setelah itu, dilakukan proses degassing pada suhu 350°C selama 3 jam sesuai penelitian Zukal dkk. (2011) bahwa suhu yang diperlukan untuk proses *degassing* untuk menghilangkan gas pengotor maupun uap air adalah antara 300°C - 400°C. Setelah proses degassing suhu diturunkan hingga mendekati suhu ruang (29°C), kemudian gas karbon dioksida mulai dialirkan dengan laju alir 20 mL/menit.

Pengukuran penyerapan gas karbon dioksida dilakukan pada suhu ruang untuk menghindari pengaruh perubahan berat akibat panas. Perubahan massa selama proses penyerapan gas karbon dioksida dicatat, kemudian dihitung selisihnya dengan massa awal sebelum dialiri gas. Hasil pengukuran kapasitas penyerapan gas karbon dioksida pada zeolit X (ZX) dan zeolit X serat aktivasi 4M 1hari (ZXS-K4M) dikonversi menjadi persentase berat seperti terlihat pada Gambar 4.10.

Pola adsorpsi pada ketiga jenis material zeolit X tersebut menunjukkan pola kenaikan kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> yang hampir sama. Pada menit ke-0 hingga menit ke-30 terjadi kenaikan kapasitas penyerapan karbon dioksida ketika molekul

gas  $\text{CO}_2$  mulai mengisi pori baik mikropori maupun mesopori. Selanjutnya, terjadi penurunan kapasitas penyerapan karbon dioksida pada menit ke-35 hingga menit ke-50 yang diakibatkan oleh lepasnya molekul gas  $\text{CO}_2$  dari mesopori. Pori berukuran meso tersebut, lebih besar daripada ukuran molekul gas  $\text{CO}_2$  yang memiliki ukuran diameter kinetik sebesar 0,33 nm (Deng dkk., 2012), sehingga gas karbon dioksida yang telah teradsorpsi dapat dengan mudah terdesorpsi atau terlepas kembali. Pada menit ke-55 hingga menit ke-75, kapasitas penyerapan gas karbon dioksida mulai mencapai konstan dan menjadi konstan di menit ke-80 hingga ke-100. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga jenis material telah mencapai keadaan jenuh, sehingga material tidak mampu lagi menyerap gas  $\text{CO}_2$  yang mengalir pada sistem.



Gambar 4.11 Grafik kapasitas penyerapan gas karbon dioksida pada (a) zeolit X ; (b) zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 1 hari.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan karbon dioksida pada zeolit X berpendukung serat lebih kecil dibandingkan zeolit X tanpa serat

dan material lain seperti yang tertera pada Tabel 4.2. Hal itu berkaitan dengan karakteristik pori zeolit X berpendukung serat yang tertera pada Tabel 4.1. Material zeolit X serat memiliki volume mikropori yang lebih kecil dibandingkan Zeolit X tanpa serat dan material lain (MOF dan karbon aktif). Selain itu, ZXS-K4M memiliki pori berukuran mesopori lebih besar dari 2 nm yang membuat molekul CO<sub>2</sub> lebih mudah lepas kembali atau terdesorpsi. Telah disebutkan sebelumnya bahwa molekul gas CO<sub>2</sub> memiliki ukuran diameter kinetik sebesar 0,33 nm, sehingga ukuran pori yang lebih tepat untuk adsorpsi CO<sub>2</sub> adalah mikropori (< 2 nm).

Tabel 4.2 Perbandingan kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> pada material untuk adsorpsi gas CO<sub>2</sub>

<b>Sampel</b>	<b>Suhu adsorpsi (°C)</b>	<b>Kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> (% berat)</b>
<b>Zeolit X serat</b>		
ZXS-K4M	29	2,83
<b>Zeolit X tanpa serat</b>		
Zeolit NaX sintesis	29	6,5
Zeolit NaX (Yi dkk., 2012)	25	14,96
Zeolit CaX (Yu dkk., 2013)	25	17,55
<b>Material lain</b>		
Karbon aktif (Sun dkk., 2013)	30	30,36
MOF-5 (Millward dan Yaghi, 2005)	25	8,4

Zeolit X berpendukung serat dengan kondisi aktivasi serat paling optimal untuk pertumbuhan kristal zeolit X pada permukaan serat (4M 1 hari), memiliki kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> sebesar 2,83% berat. Kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> pada material zeolit X berpendukung material serat dapat ditingkatkan melalui modifikasi permukaan zeolit untuk meningkatkan volume mikropori, pengoptimalan pertumbuhan kristal zeolit pada permukaan serat, serta optimasi pada kondisi suhu dan tekanan saat penyerapan karbon dioksida agar molekul gas dapat mengisi pori yang lebih dalam.





## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Sintesis zeolit X berpendukung material serat berupa serat gelas berhasil dilakukan dengan aktivasi terlebih dahulu pada serat gelas. Melalui kondisi aktivasi serat yang telah dipelajari dengan melakukan variasi waktu aktivasi antara 6 jam hingga 30 hari dan variasi konsentrasi NaOH antara 1M – 8M, didapatkan hasil bahwa kondisi aktivasi pada serat gelas akan mempengaruhi pertumbuhan kristal zeolit X pada permukaan serat gelas. Semakin lama waktu aktivasi dan semakin tinggi konsentrasi NaOH dalam aktivasi serat, pertumbuhan kristal zeolit X memiliki kristalinitas sangat rendah bahkan memiliki fasa amorf. Namun, pertumbuhan kristal zeolit X dengan kristalinitas tinggi dan menyelimuti permukaan serat gelas pada kondisi aktivasi 1 hari dengan konsentrasi 4M.

Pengujian kapasitas penyerapan gas karbon dioksida menunjukkan bahwa material zeolit X berpendukung serat dengan kondisi aktivasi serat gelas 4M selama 1 hari (ZXS-K4M), memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 2,83% berat. Walaupun kapasitas adsorpsi gas karbon dioksida pada zeolit X berpendukung material serat masih lebih kecil dibandingkan zeolit X, tetapi dapat dikatakan bahwa zeolit X berpendukung serat bisa diaplikasikan sebagai material penyerap karbon dioksida.

#### **5.2 Saran**

Penurunan kapasitas penyerapan karbon dioksida pada zeolit X berpendukung serat jika dibandingkan dengan zeolit X, dapat diakibatkan oleh homogenitas zeolit X yang tumbuh pada permukaan serat serta kondisi adsorpsi yang belum optimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lanjut antara lain mengenai :

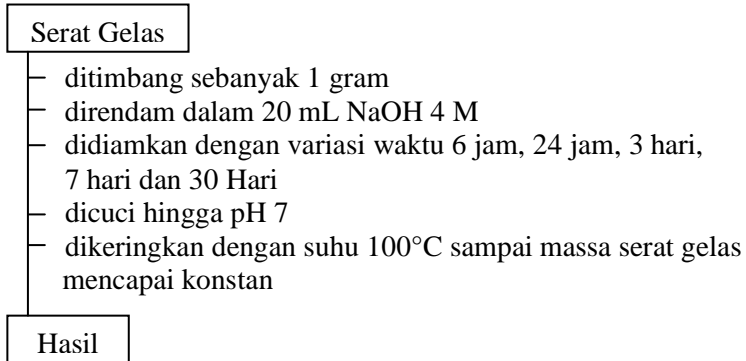
1. Optimasi homogenitas zeolit X pada permukaan serat melalui parameter kondisi hidrotermal berupa suhu dan waktu, serta komposisi molar larutan zeolit X terhadap kandungan fasa silika dalam serat gelas. Kedua parameter tersebut diperlukan untuk mencari kondisi dimana kristal zeolit X dapat tumbuh dengan homogenitas tinggi dan menyelimuti seluruh permukaan serat yang ditambahkan sebagai material pendukung.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi kondisi adsorpsi karbon dioksida pada suhu dan tekanan tertentu. Hal tersebut dilakukan untuk mencari kondisi optimal dalam adsorpsi karbon dioksida, sehingga kapasitas adsorpsi karbon dioksida dapat meningkat.
3. Peningkatan kapasitas adsorpsi karbon dioksida pada zeolit X berpendukung serat juga dapat dilakukan melalui modifikasi pada permukaan zeolit X, sehingga membentuk mikropori dengan jumlah tinggi dan meminimalisir terbentuknya mesopori.

Melalui optimasi lanjutan tersebut, diharapkan kapasitas adsorpsi karbon dioksida pada material zeolit X berpendukung serat dapat meningkat hingga mencapai hasil kapasitas adsorpsi yang telah dilakukan sebelumnya.

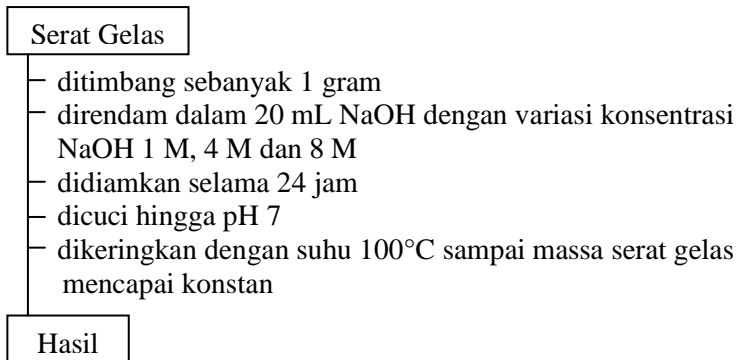
## **LAMPIRAN A**

### **SKEMA KERJA**

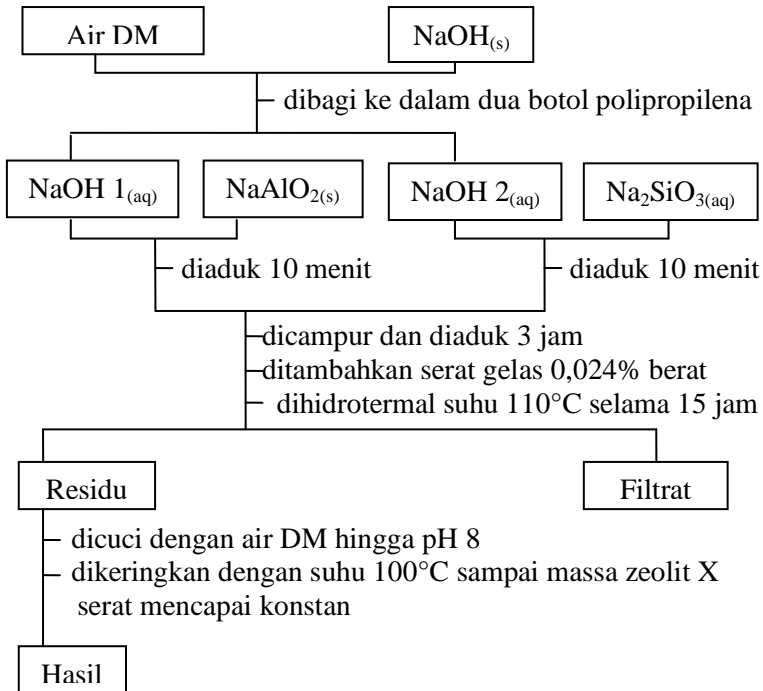
#### **1. Aktivasi Serat Gelas dengan NaOH 4 M**



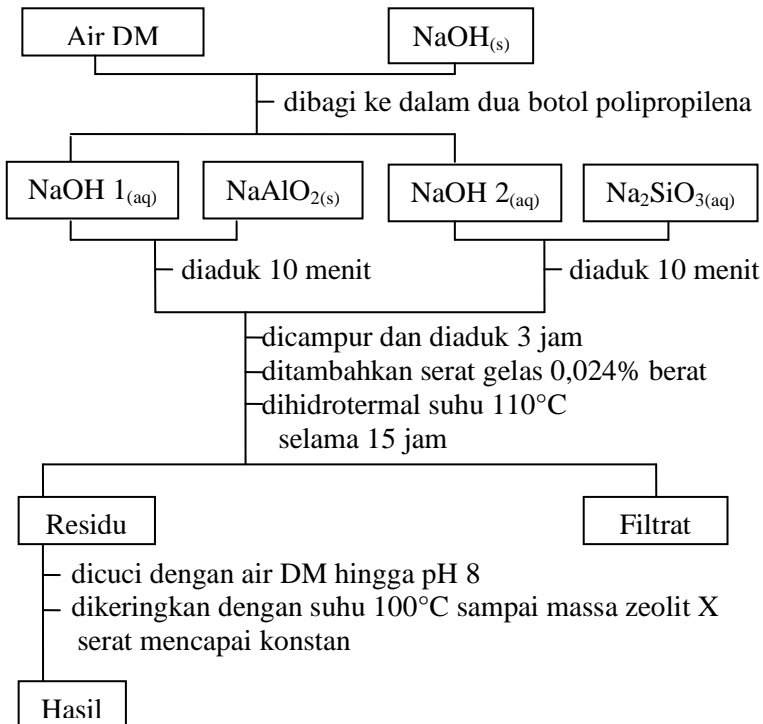
#### **2. Aktivasi Serat Gelas dengan Variasi Konsentrasi NaOH**



### 3. Sintesis Zeolit X Berpendukung Serat Variasi Waktu Aktivasi



#### 4. Sintesis Zeolit X Berpendukung Serat Variasi Konsentrasi Aktivasi



## 5. Pengujian Kapasitas Adsorpsi Karbon Dioksida

Zeolit X
Zeolit X Berpendukung Serat

- dioven selama 2 jam dengan suhu 105°
- didinginkan suhu ruang
- dimasukkan ke dalam desikator
- diambil 0,5 gram
- dimasukkan ke dalam sampel holder
- *degassing* pada suhu 350°C selama 3 jam
- dilakukan vakum dengan pompa
- didinginkan hingga suhu ruang (29°C)
- dinyalakan MFC hingga menunjukkan angka nol
- dialirkan gas karbon dioksida selama 100 menit dengan laju alir 20 mL/menit
- diamati perubahan massa selama 5 menit

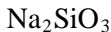
Zeolit X + CO <sub>2</sub>
Zeolit X Berpendukung Serat + CO <sub>2</sub>

## LAMPIRAN B

### PERHITUNGAN LARUTAN SINTESIS ZEOLIT X

#### 1. Bahan

Bahan yang digunakan untuk sintesis zeolit X adalah :



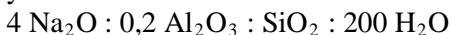
#### 2. Komposisi bahan

- $\text{NaAlO}_2$  terdiri dari  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 53\%$   
 $\text{Na}_2\text{O} = 42,5\%$   
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,05\%$  (diabaikan)

- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terdiri dari  $\text{Na}_2\text{O} = 17,75\%$   
 $\text{SiO}_2 = 34,25\%$   
 $\text{H}_2\text{O} = 48\%$

#### 3. Rasio komposisi molar dari zeolit X

Rasio komposisi molar yang digunakan untuk sintesis zeolit X berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhang dkk.(2013) yaitu:



#### 4. Perhitungan massa yang dibutuhkan pada masing-masing bahan

- **0,2 mol  $\text{Al}_2\text{O}_3$** 
  - Massa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang dibutuhkan :  
 $m = n \times \text{Mr} = 0,2 \text{ mol} \times 101,96 \text{ gr/mol} = 20,392 \text{ gram}$
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam bahan  $\text{NaAlO}_2$  sebanyak 53%  
Maka, massa  $\text{NaAlO}_2$  yang dibutuhkan adalah :  

$$\text{Massa NaAlO}_2 = \frac{\text{massa Al}_2\text{O}_3}{\% \text{ Al}_2\text{O}_3} = \frac{20,392}{53\%} = 38,47547 \text{ gram}$$



▪ **1 mol SiO<sub>2</sub>**

- Massa SiO<sub>2</sub> yang dibutuhkan :  
 $m = n \times Mr = 1 \text{ mol} \times 60 \text{ gr/mol} = 60 \text{ gram}$
- SiO<sub>2</sub> dalam bahan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebanyak 34,25%  
 Maka, massa Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang dibutuhkan adalah :  

$$\text{Massa Na}_2\text{SiO}_3 = \frac{\text{massa SiO}_2}{\% \text{ SiO}_2} = \frac{60}{34,25\%} = 175,1825 \text{ gram}$$

▪ **200 mol H<sub>2</sub>O**

- Massa H<sub>2</sub>O yang dibutuhkan :  
 $m = n \times Mr = 200 \text{ mol} \times 18 \text{ gr/mol} = 3600 \text{ gram}$
- H<sub>2</sub>O dalam bahan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebanyak 48%  
 $\text{Massa H}_2\text{O dalam Na}_2\text{SiO}_3 = 48\% \times 175,1825 \text{ g} = 84,0876 \text{ gram}$
- Maka, massa H<sub>2</sub>O yang perlu ditambah dari air DM adalah:  
 $3600 \text{ gram} - 84,0876 \text{ gram} = 3515,9124 \text{ gram}$

▪ **4 mol Na<sub>2</sub>O**

- Na<sub>2</sub>O dalam bahan NaAlO<sub>2</sub> sebanyak 42,5%  
 Massa Na<sub>2</sub>O dalam NaAlO<sub>2</sub> :  
 $42,5\% \times 38,47547 \text{ gram} = 16,35208 \text{ gram}$   
 $\text{Mol Na}_2\text{O dalam NaAlO}_2 = \frac{16,35208 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,2637 \text{ mol}$
- Na<sub>2</sub>O dalam bahan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebanyak 17,75%  
 Massa Na<sub>2</sub>O dalam Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> :  
 $17,75\% \times 175,1825 \text{ gram} = 31,09489 \text{ gram}$   
 $\text{Mol Na}_2\text{O dalam Na}_2\text{SiO}_3 = \frac{31,09489 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,50153 \text{ mol}$
- Total mol Na<sub>2</sub>O yang telah ada :  
 $0,2637 \text{ mol} + 0,50153 \text{ mol} = 0,76528 \text{ mol}$   
 Jadi, mol Na<sub>2</sub>O yang perlu ditambahkan :  
 $4 \text{ mol} - 0,76528 \text{ mol} = 3,23472 \text{ mol}$
- Sumber Na<sub>2</sub>O yang digunakan adalah NaOH, sehingga mol Na<sub>2</sub>O yang ditambahkan dikalikan 2 :  
 $2 \times 3,23472 \text{ mol} = 6,46944 \text{ mol}$

- Massa NaOH yang ditambahkan sebanyak :

$$m = n \times Mr$$

$$m_{\text{NaOH}} = 6,46944 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} = 258,7776 \text{ gram}$$

- Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, massa bahan yang digunakan untuk sintesis zeolit X masing-masing sebanyak :

$$\text{NaAlO}_2 = 38,47547 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 175,1825 \text{ gram}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 3515,9124 \text{ gram}$$

$$\text{NaOH} = 258,7776 \text{ gram}$$

- Tetapi, pada penelitian ini digunakan massa yang lebih kecil sebanyak  $\frac{1}{4}$  resep dari perhitungan massa, sehingga didapatkan komposisi masa bahan sebagai berikut :

$$\text{NaAlO}_2 = 1,53902 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 7,0073 \text{ gram}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 140,6365 \text{ gram}$$

$$\text{NaOH} = 10,3511 \text{ gram}$$

**LAMPIRAN C**  
**PERHITUNGAN MATERIAL SERAT YANG**  
**DITAMBAHKAN**

- Perhitungan material serat didapatkan dari jumlah total massa bahan yang digunakan dalam sintesis zeolit X :

$$\begin{array}{rcl} \text{NaAlO}_2 & = & 1,5390 \text{ gram} \\ \text{Na}_2\text{SiO}_3 & = & 7,0073 \text{ gram} \\ \text{H}_2\text{O} & = & 140,6365 \text{ gram} \\ \text{NaOH} & = & \underline{10,3511 \text{ gram}} + \\ \text{Total} & = & \mathbf{159,5339 \text{ gram}} \end{array}$$

- Massa material serat yang ditambahkan :  
0,024% berat = 0,0383 gram

## LAMPIRAN D

### PERHITUNGAN KRISTALINITAS

- Prosentase kristalinitas relatif dihitung dengan membandingkan intensitas puncak-puncak khas zeolit X berpendukung material serat (ZXS) terhadap zeolit X tanpa serat (ZX) :

$$\% \text{ kristalinitas relatif} = \frac{\sum \text{intensitas relatif zeolit X serat}}{\sum \text{intensitas relatif zeolit X}} \times 100\%$$

- % Kristalinitas relatif zeolit X serat variasi waktu aktivasi

Sampel	Intensitas							$\Sigma$	Kris talin itas (%)
	6.10°	9.98°	11.73°	15.45°	23.34°	26.68°	30.97°		
ZX	4838	1296	955	1260	1707	1692	1748	13496	100
ZXS-W6J	1064	289	186	176	136	128	127	2106	15.60
ZXS-W1H	2206	665	549	846	998	964	1001	7229	53.56
ZXS-W3H	1004	454	328	207	287	202	206	2688	19.91
ZXS-W7H	940	229	216	187	-	-	-	1572	11.65
ZXS-W30H	687	195	-	-	-	-	-	882	6.54

- % Kristalinitas relatif zeolit X serat variasi konsentrasi aktivasi

Sampel	Intensitas							$\Sigma$	Kris talin itas (%)
	6.10°	9.98°	11.73°	15.45°	23.34°	26.68°	30.97°		
Zeolit X	4838	1296	955	1260	1707	1692	1748	13496	100
ZXS-K1M	2288	587	484	650	866	790	862	6527	48.36
ZXS-K4M	2206	665	549	846	998	964	1001	7229	53.56
ZXS-K8M	522	171	144	112	76	88	91	1204	8.92

**LAMPIRAN E**  
**PERHITUNGAN KAPASITAS ADSORPSI KARBON**  
**DIOKSIDA**

**1. Cara perhitungan kapasitas adsorpsi karbon dioksida secara gravimetri**

- Kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> (% berat) :

$$\% \text{ Berat } CO_2 = \frac{\Delta m}{m_0} \times 100\%$$

Keterangan :

$m_0$  = massa sampel + holder pada menit ke-0

$m_t$  = massa sampel + holder pada menit ke-t

$\Delta m = m_t - m_0$

Contoh :

$m_0 = 4,779 \text{ g}$

$m_{t5} = 4,8325 \text{ g}$

$\Delta m = m_{t5} - m_0 = 4,779 - 4,8325 = 0,0535 \text{ g}$

$\% \text{ Berat } CO_2 (t=5 \text{ menit}) = \frac{0,0535}{4,779} \times 100\% = 1,119 \%$

Untuk selanjutnya, perhitungan dilakukan hingga  $m_t$  mencapai 100 menit. Hasil dapat dilihat perhitungan no. 2 dan 3.

## 2. Kapasitas adsorpsi karbon dioksida pada zeolit X (ZX)

Aliran gas CO<sub>2</sub> = 20 mL/menit

Massa holder = 4,2710 g

Suhu adsorpsi = 29°C

Massa sampel = 0,5080 g

No.	Waktu (menit)	Berat sampel + holder (gr)	$\Delta m$ (gr)	Kapasitas adsorpsi CO <sub>2</sub> (% berat)
1	0	4.779	0.000	0
2	5	4.833	0.053	1.119481063
3	10	4.840	0.061	1.276417661
4	15	4.861	0.082	1.705377694
5	20	4.873	0.094	1.95647625
6	25	4.895	0.116	2.427286043
7	30	5.008	0.229	4.791797447
8	35	5.055	0.276	5.775266792
9	40	5.031	0.252	5.26260724
10	45	5.023	0.244	5.095208203
11	50	5.043	0.264	5.513705796
12	55	5.050	0.271	5.670642394
13	60	5.060	0.281	5.869428751
14	65	5.077	0.298	6.235614145
15	70	5.082	0.303	6.340238544
16	75	5.084	0.305	6.382088303
17	80	5.089	0.310	6.476250262
18	85	5.092	0.313	6.539024901
19	90	5.091	0.312	6.518100021
20	95	5.091	0.312	6.518100021
21	100	5.090	0.311	6.507637581

### 3. Kapasitas adsorpsi karbon dioksida pada zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 1 hari (ZXS-K4M)

Aliran gas CO<sub>2</sub> = 20 mL/menit

Massa holder = 4, 2709 g

Suhu adsorpsi = 29°C

Massa sampel = 0, 5071 g

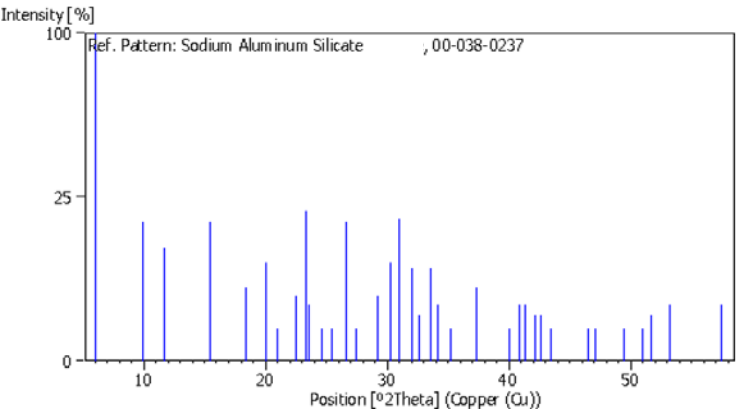
No.	Waktu (menit)	Berat sampel + holder (gr)	$\Delta m$ (gr)	Kapasitas adsorpsi CO <sub>2</sub> (% berat)
1	0	4.778	0.000	0
2	5	4.809	0.031	0.638342403
3	10	4.810	0.032	0.659271662
4	15	4.821	0.043	0.889493512
5	20	4.821	0.043	0.899958141
6	25	4.825	0.047	0.973210548
7	30	4.827	0.048	1.015069067
8	35	4.833	0.055	1.140644621
9	40	4.818	0.040	0.837170364
10	45	4.818	0.040	0.837170364
11	50	4.849	0.071	1.475512767
12	55	4.861	0.083	1.737128506
13	60	4.867	0.089	1.852239431
14	65	4.896	0.118	2.469652574
15	70	4.902	0.124	2.595228129
16	75	4.904	0.126	2.626622018
17	80	4.906	0.128	2.668480536
18	85	4.911	0.133	2.783591461
19	90	4.913	0.135	2.81498535
20	95	4.913	0.135	2.825449979
21	100	4.913	0.135	2.825449979

LAMPIRAN F  
PDF (POWDER DIFFRACTION FILE) NO. 00-038-0237

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	14.47000	6.103	100.0
2	2	2	0	8.85000	9.987	18.0
3	3	1	1	7.54000	11.727	12.0
4	3	3	1	5.73000	15.452	18.0
5	5	1	1	4.81000	18.431	5.0
6	4	4	0	4.42000	20.073	9.0
7	5	3	1	4.23000	20.985	1.0
8	6	2	0	3.94600	22.514	4.0
9	5	3	3	3.80800	23.341	21.0
10	6	2	2	3.76500	23.612	3.0
11	4	4	4	3.60900	24.648	1.0
12	7	1	1	3.50000	25.428	1.0
13	6	4	2	3.33800	26.684	18.0
14	7	3	1	3.25300	27.395	1.0
15	7	3	3	3.05100	29.248	4.0
16	6	6	0	2.94400	30.336	9.0
17	7	5	1	2.88500	30.972	19.0
18	8	4	0	2.79400	32.007	8.0
19	9	1	1	2.74300	32.619	2.0
20	6	6	4	2.66300	33.627	8.0
21	9	3	1	2.62000	34.196	3.0
22	8	4	4	2.55000	35.165	1.0
23	10	2	2	2.40400	37.377	5.0
24	11	1	1	2.25400	39.967	1.0
25	8	8	0	2.20900	40.817	3.0
26	9	7	1	2.18200	41.345	3.0
27	10	6	0	2.14100	42.174	2.0
28	9	7	3	2.12000	42.612	2.0
29	12	0	0	2.08300	43.407	1.0
30	10	8	0	1.95200	46.485	1.0
31	10	8	2	1.92800	47.098	1.0
32	12	6	2	1.84200	49.440	1.0
33	13	5	1	1.78900	51.008	1.0
34	14	2	0	1.76700	51.690	2.0
35	11	9	3	1.72100	53.178	3.0
36	11	11	1	1.60300	57.441	3.0

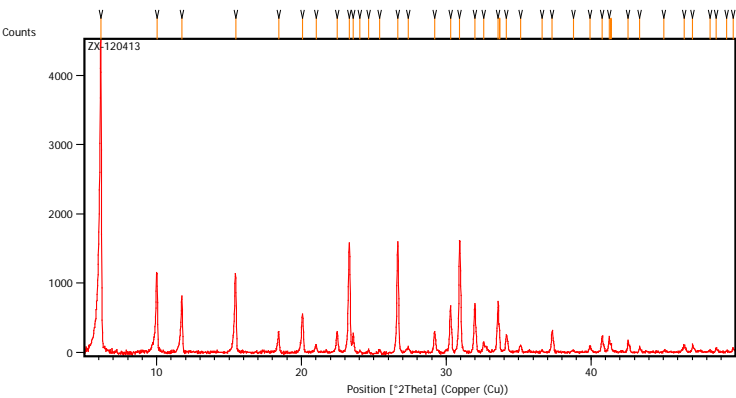
Stick Pattern





LAMPIRAN G  
DATA DAN GRAFIK HASIL ANALISIS XRD

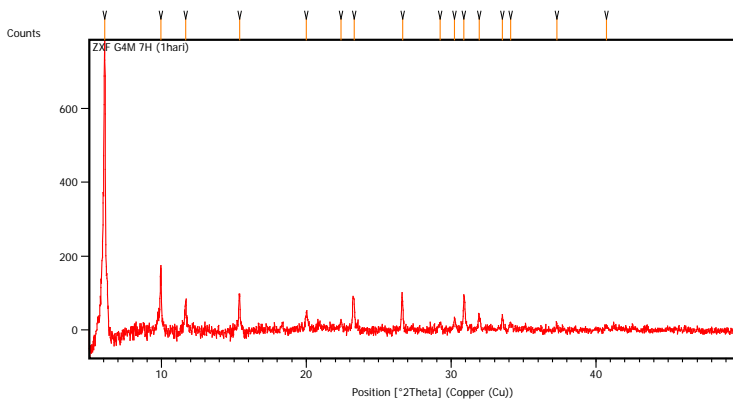
1. Zeolit X tanpa serat (ZX)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	°2Th.	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1528	4503.30		0.0836	14.36506	100.00
10.0207	1151.56		0.1004	8.82726	25.57
11.7535	793.83		0.0836	7.52949	17.63
15.4569	1121.62		0.1004	5.73280	24.91
18.4386	303.16		0.0836	4.81193	6.73
20.0835	562.42		0.1171	4.42138	12.49
21.0189	111.66		0.0836	4.22669	2.48
22.4783	311.46		0.0836	3.95545	6.92
25.3093	1609.92		0.1171	3.81629	35.75
25.5780	241.00		0.0669	3.77341	5.35
24.0487	34.17		0.1338	3.70060	0.76
24.6556	41.65		0.0836	3.61088	0.92
25.4121	58.44		0.1338	3.50507	1.30
26.6580	1624.32		0.1338	3.34401	36.07
27.3848	88.08		0.1338	3.25689	1.96
29.1973	320.12		0.1171	3.05871	7.11
30.3026	695.88		0.1004	2.94961	15.45
30.9362	1643.75		0.1171	2.89064	36.50
31.9735	700.83		0.1004	2.79918	15.56
32.5793	148.47		0.0836	2.74851	3.30
33.5854	743.87		0.1428	2.66622	16.52
33.6873	323.12		0.0408	2.66500	7.18
34.1652	263.34		0.1020	2.62230	5.85
35.1513	104.20		0.1632	2.55095	2.31
36.6096	37.63		0.1224	2.45262	0.84
37.3283	305.94		0.1020	2.40703	6.79
38.7886	24.25		0.2448	2.31971	0.54
39.9367	90.55		0.0816	2.25563	2.01
40.7797	227.35		0.1224	2.21092	5.05
41.2588	213.42		0.1020	2.18635	4.74
41.4017	131.25		0.0612	2.18455	2.91
42.5578	175.70		0.0816	2.12257	3.90
43.3706	92.23		0.1020	2.08466	2.05
45.0542	26.44		0.1224	2.01059	0.59
46.4369	97.32		0.0816	1.95389	2.16
47.0320	116.39		0.0816	1.93055	2.58
48.2317	12.72		0.2448	1.88529	0.28
48.6596	56.92		0.1224	1.86971	1.26
49.3748	19.75		0.1224	1.84429	0.44
49.8110	57.20		0.0816	1.82915	1.27

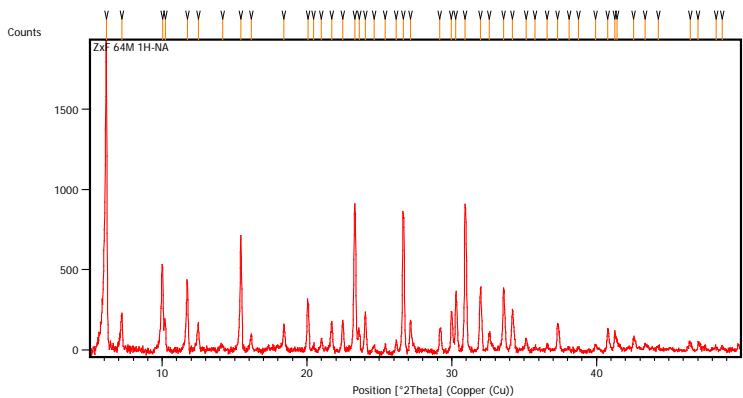
## 2. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 6 jam (ZXS-W6J)



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0906	814.06	0.0836	14.51166	100.00
9.9475	134.42	0.1004	8.89209	16.51
11.6749	81.94	0.1004	7.58000	10.07
15.3852	98.99	0.1004	5.75935	12.16
20.0140	46.45	0.1338	4.43658	5.71
22.4073	25.95	0.1004	3.96783	3.19
23.2980	86.86	0.1338	3.81811	10.67
26.6456	82.77	0.1171	3.34555	10.17
29.2571	18.16	0.3011	3.05259	2.23
30.2538	32.01	0.1004	2.95426	3.93
30.8912	94.19	0.1171	2.89475	11.57
31.9626	32.52	0.1673	2.80011	3.99
33.5614	32.58	0.1004	2.67029	4.00
34.1142	14.49	0.1338	2.62827	1.78
37.3064	17.06	0.2007	2.41039	2.10
40.7537	8.12	0.2007	2.21411	1.00

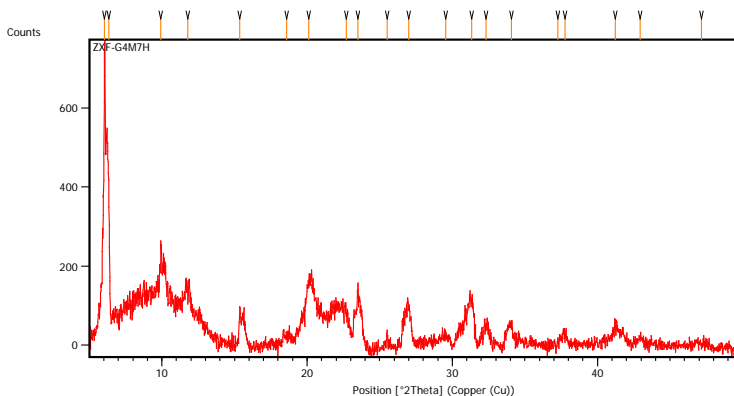
3. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 1 hari (ZXS-K4M)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1474	2125.68	0.1004	14.37759	100.00
7.2278	367.11	0.1004	12.23075	17.27
10.0241	602.60	0.1171	8.82432	28.35
10.2156	246.18	0.0836	8.65932	11.58
11.7394	490.22	0.1171	7.53854	23.06
12.4986	205.53	0.0669	7.08225	9.67
14.1780	73.05	0.2007	6.24693	3.44
15.4344	766.97	0.1171	5.74111	36.08
16.1609	129.95	0.0836	5.48463	6.11
18.4112	185.62	0.1171	4.81904	8.73
20.0638	335.11	0.1171	4.42568	15.76
20.4620	67.74	0.1004	4.34044	3.19
20.9908	107.27	0.1171	4.23228	5.05
21.7131	212.99	0.1338	4.09309	10.02
22.4687	218.16	0.0836	3.95713	10.26
23.3079	946.86	0.1338	3.81651	44.54
23.6084	155.36	0.1004	3.76861	7.32
24.0486	278.63	0.1004	3.70062	13.11
24.6378	75.04	0.1673	3.61344	3.53
25.4142	86.22	0.0836	3.50478	4.06
26.1591	98.93	0.0836	3.40664	4.65
26.6526	895.83	0.1338	3.34468	42.14
27.1410	232.35	0.1004	3.28559	10.93
29.1658	168.49	0.0669	3.06195	7.93
29.9833	285.85	0.1004	2.98030	13.45
30.2883	385.76	0.1171	2.95097	18.15
30.9188	941.85	0.1506	2.89222	44.31
32.0001	431.32	0.1338	2.79692	20.29
32.6003	130.12	0.1338	2.74678	6.12
33.5777	410.52	0.1338	2.66903	19.31
34.1856	254.93	0.1171	2.62295	11.99
35.1478	90.00	0.1004	2.55331	4.23
35.7370	32.89	0.2007	2.51256	1.55
36.5998	51.46	0.1004	2.45528	2.42
37.3056	175.92	0.1338	2.41044	8.28
38.0950	20.34	0.2007	2.36229	0.96
38.7431	29.45	0.1338	2.32425	1.39
39.9386	46.15	0.1004	2.25739	2.17
40.7838	141.82	0.1338	2.21254	6.67
41.2692	131.84	0.0816	2.18582	6.20
41.4391	60.07	0.2676	2.17906	2.83
42.5712	72.77	0.2007	2.12370	3.42
43.3456	38.83	0.1338	2.08753	1.83
44.2621	19.09	0.2007	2.04641	0.90
46.4750	46.62	0.1004	1.95400	2.19
47.0318	54.21	0.0669	1.93215	2.55
48.2543	16.23	0.3346	1.88603	0.76
48.6855	18.03	0.2007	1.87033	0.85

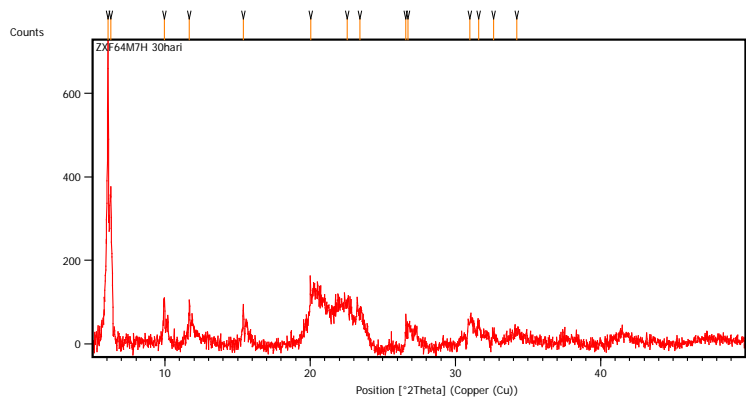
#### 4. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 3 hari (ZXS-W3H)



##### Peak List: (Bookmark3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0529	717.87	0.0502	14.60190	100.00
6.3430	323.90	0.0836	13.93470	45.12
9.9240	156.58	0.1004	8.91311	21.81
11.7709	82.26	0.4684	7.51839	11.46
15.3667	91.29	0.1004	5.76624	12.72
18.5858	22.93	0.4015	4.77416	3.19
20.1118	166.90	0.4684	4.41523	23.25
22.6963	93.14	0.4684	3.91796	12.97
23.4930	155.41	0.1338	3.78686	21.65
25.5300	19.06	0.4015	3.48915	2.65
27.0118	94.82	0.2676	3.30102	13.21
29.5608	17.37	0.5353	3.02192	2.42
31.3504	108.27	0.4015	2.85338	15.08
32.3372	45.12	0.4015	2.76853	6.29
34.0946	50.59	0.2342	2.62974	7.05
37.2609	15.25	0.1171	2.41323	2.12
37.7512	29.69	0.3346	2.38301	4.14
41.2176	51.22	0.2676	2.19025	7.14
42.9372	22.74	0.4015	2.10643	3.17
47.1484	7.40	0.8029	1.92765	1.03

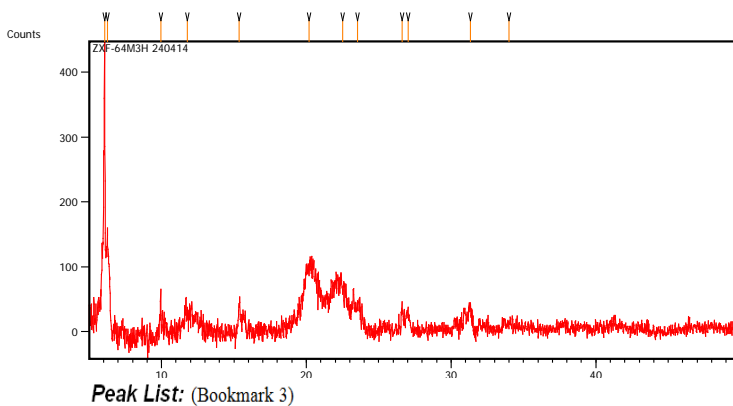
5. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 7 hari (ZXS-W7H)



Peak List: (Bookmark 3)

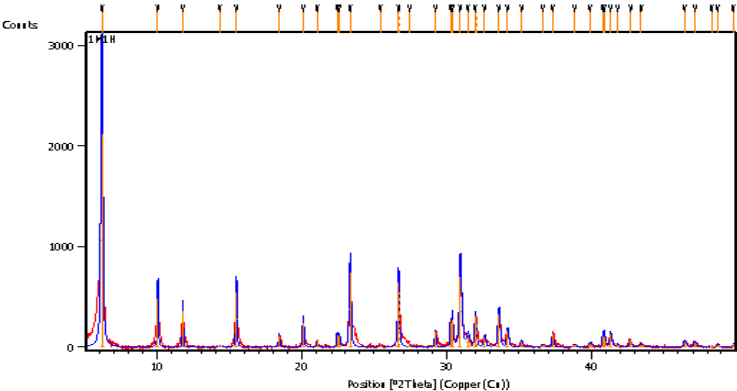
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0689	801.07	0.0502	14.56357	100.00
6.2704	434.36	0.0836	14.09590	54.22
9.9437	103.05	0.1004	8.89546	12.86
11.6694	103.74	0.0669	7.58356	12.95
15.3935	92.16	0.0669	5.75627	11.50
20.0273	146.74	0.1004	4.43365	18.32
22.5467	113.52	0.9368	3.94362	14.17
23.4311	92.63	0.5353	3.79673	11.56
26.5864	62.23	0.0502	3.35286	7.77
26.7534	48.33	0.8029	3.33231	6.03
30.9868	51.87	0.2007	2.88602	6.47
31.5980	47.91	0.1673	2.83159	5.98
32.6192	14.29	0.2007	2.74524	1.78
34.2359	23.91	0.4015	2.61921	2.98

## 6. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 4M 30 hari (ZXS-W30H)



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0579	524.32	0.0502	14.58983	100.00
6.2825	209.04	0.2007	14.06890	39.87
9.9575	38.70	0.2007	8.88316	7.38
11.8004	32.24	0.5353	7.49965	6.15
15.3728	48.84	0.1338	5.76399	9.31
20.1771	93.81	0.8029	4.40108	17.89
22.5083	69.31	0.8029	3.95026	13.22
23.5220	37.44	0.4015	3.78225	7.14
26.6247	31.35	0.2007	3.34812	5.98
27.0288	27.32	0.2007	3.29897	5.21
31.3276	31.29	0.2676	2.85540	5.97
33.9944	8.31	0.8029	2.63726	1.58

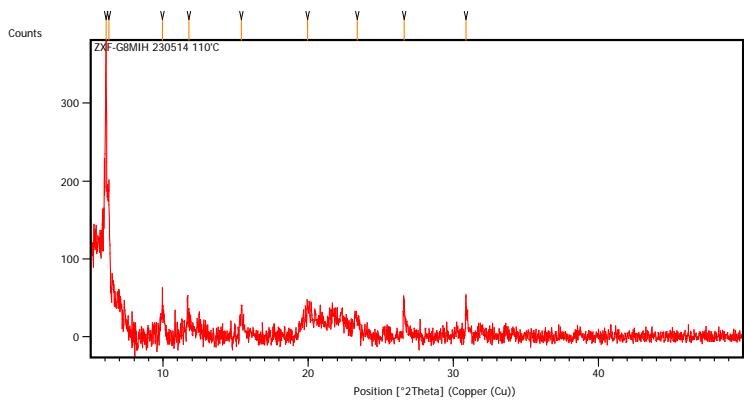
7. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 1M hari (ZXS-K1M)



Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1444	2117.25	0.1673	14.38457	100.00
10.0113	478.06	0.1004	8.83555	22.58
11.7400	367.42	0.0669	7.53810	17.35
14.2986	5.80	0.2676	6.19447	0.27
15.4378	550.96	0.0836	5.73984	26.02
18.3929	114.97	0.0836	4.82377	5.43
20.0608	244.63	0.1004	4.42633	11.55
21.0334	67.35	0.0502	4.22380	3.18
22.4216	117.92	0.0836	3.96533	5.57
22.5680	112.32	0.0836	3.93993	5.30
23.3102	743.65	0.1171	3.81614	35.12
25.4071	33.16	0.0669	3.50575	1.57
26.6400	645.70	0.1224	3.34346	30.50
26.7385	545.27	0.0612	3.33965	25.75
27.4264	54.78	0.0612	3.24936	2.59
29.1992	157.92	0.0816	3.05598	7.46
30.2719	244.36	0.0816	2.95010	11.54
30.3903	270.47	0.0816	2.93887	12.77
30.9341	704.99	0.1836	2.88843	33.30
31.4586	98.27	0.2448	2.84146	4.64
31.9655	311.82	0.1020	2.79755	14.73
32.0667	267.52	0.0612	2.79588	12.64
32.6087	96.41	0.1632	2.74382	4.55
33.5842	330.51	0.1428	2.66632	15.61
34.1999	165.23	0.1224	2.61971	7.80
35.1638	61.84	0.1224	2.55008	2.92
36.6330	24.58	0.2040	2.45110	1.16
37.3241	131.22	0.0816	2.40729	6.20
38.8324	20.93	0.2040	2.31719	0.99
39.9154	35.73	0.2856	2.25678	1.69
40.7741	114.04	0.0816	2.21121	5.39
40.8897	105.03	0.1224	2.20523	4.96
41.3174	130.85	0.1428	2.18338	6.18
41.8171	27.21	0.1632	2.15844	1.29
42.6960	69.90	0.1020	2.11602	3.30
43.4294	28.95	0.2448	2.08197	1.37
46.4522	59.29	0.1632	1.95329	2.80
47.1611	50.87	0.2040	1.92556	2.40
48.3184	4.99	0.2040	1.88212	0.24
48.7255	28.79	0.1428	1.86734	1.36
49.8080	37.32	0.0612	1.82926	1.76

8. Zeolit X berpendukung serat aktivasi 8M hari (ZXS-K8M)



Peak List: (Bookmark3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0604	380.54	0.0669	14.58389	100.00
6.2720	185.20	0.1004	14.09233	48.67
9.9617	35.10	0.2676	8.87945	9.22
11.7647	25.50	0.4015	7.52236	6.70
15.3984	31.79	0.2007	5.75445	8.35
19.9692	26.28	0.8029	4.44643	6.91
23.3716	12.76	0.2676	3.80625	3.35
26.6065	42.58	0.1004	3.35037	11.19
30.8777	52.50	0.0502	2.89598	13.80



## LAMPIRAN H

### DATA ISOTHERMAL ADSORPSI-DESORPSI N<sub>2</sub>

Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2011, Quantachrome Instruments  
version 2.0

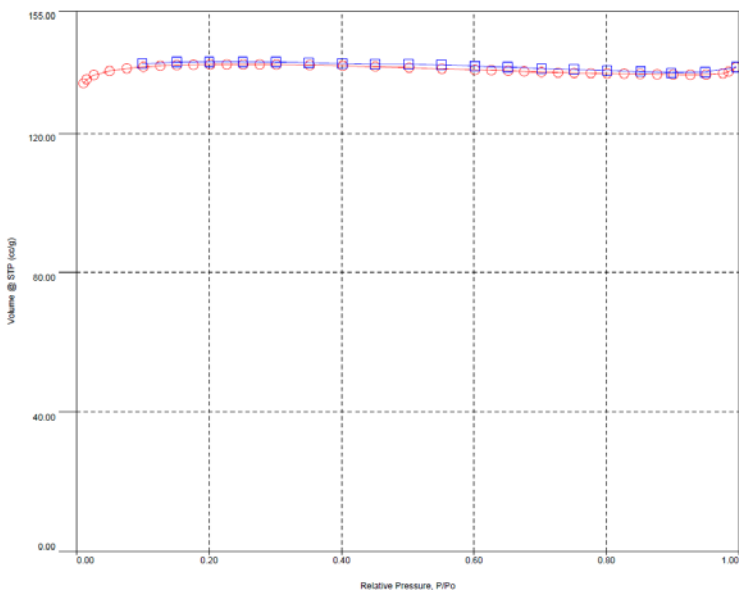


<b>Analysis</b>		<b>Report</b>	
Operator: Lab. Energi ITS	Date: 2014/07/12	Operator: Lab. Energi ITS	Date: 2014/07/13
Sample ID: 11JUL12XF-110-15H	Filename: BET_iq_phsy_sl1_2014_07_12_08_33_16_01_2XF-110C-15H.qgs		
Sample Desc:	Comment: Autosorb iQ Station 1	Extended info:	Available
Sample Weight: 0.0994 g	Instrument:	CellType:	9mm
Approx. Outgas Time: 25.4 hrs	Final Outgas Temp.: 300 °C	VoidVol Remeasure:	on
Analysis gas: Nitrogen	Non-ideality: 6.58e-05 1/mmHg	Warm Zone V:	10.8882 cc
Analysis Time: 3:57 hr min	Bath temp.: 77.35 K		
Analysis Mode: Standard			
VoidVol. Mode: He Measure	Cold Zone V: 7.29183 cc		

Isotherm : Linear

Data Reduction Parameters			
Adsorbate	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature: 77.350K	
Moist. Wt.: 28.013		Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.806 g/cc

Ads
 Des



**Quantachrome® ASIqwin™ - Automated Gas Sorption Data**  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2011, Quantachrome Instruments  
version 2.0



<b>Analysis</b>			<b>Report</b>		
Operator:	Lab. Energi ITS	Date:2014/07/12	Operator:	Lab. Energi ITS	Date:2014/07/13
Sample ID:	11JUL1ZXF-110-15H	Filename:	BET_qt_phisy_at_2014_07_12_08_33_16_01_ZXF-110C-15H1.gps		
Sample Desc:	Nitrogen	Comment:			
Sample Weight:	0.0984 g	Instrument:	Autosorb IQ Station 1	Extended info:	Available
Approx. Outgas Time:	25.4 hrs	Final Outgas Temp.:	300 °C	CellType:	9mm
Analysis gas:	Nitrogen	Non-ideality:	6.50e-05 1/mmHg		
Analysis Time:	3:57 hr:min	Bath temp.:	77.35 K		
Analysis Mode:	Standard			VoidVol Remeasure:	on
VoidVol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	7.29183 cc	Warm Zone V:	10.8882 cc

**Total Pore Volume**

**Data Reduction Parameters Data**

<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å²
			Liquid Density: 0.806 g/cc

Total Pore Volume summary  
Total Pore Volume

Total pore volume = 2.155e-01 cc/g for  
pores smaller than 466.1 nm (Diameter)  
at P(Po) = 0.99507

**Quantachrome® ASIqwin™ - Automated Gas Sorption Data**  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2011, Quantachrome Instruments  
version 2.0



<b>Analysis</b>			<b>Report</b>		
Operator:	Lab. Energi ITS	Date:2014/07/12	Operator:	Lab. Energi ITS	Date:2014/07/13
Sample ID:	11JUL1ZXF-110-15H	Filename:	BET_qt_phisy_at_2014_07_12_08_33_16_01_ZXF-110C-15H1.gps		
Sample Desc:	Nitrogen	Comment:			
Sample Weight:	0.0984 g	Instrument:	Autosorb IQ Station 1	Extended info:	Available
Approx. Outgas Time:	25.4 hrs	Final Outgas Temp.:	300 °C	CellType:	9mm
Analysis gas:	Nitrogen	Non-ideality:	6.50e-05 1/mmHg		
Analysis Time:	3:57 hr:min	Bath temp.:	77.35 K		
Analysis Mode:	Standard			VoidVol Remeasure:	on
VoidVol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	7.29183 cc	Warm Zone V:	10.8882 cc

**Average Pore Size**

**Data Reduction Parameters Data**

<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å²
			Liquid Density: 0.806 g/cc

Average Pore Size summary

Average pore Diameter = 2.00444e+00 nm

**Quantachrome® ASIqwin™ - Automated Gas Sorption Data**  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2011, Quantachrome Instruments  
version 2.0



<b>Analysis</b>			<b>Report</b>		
Operator:	Lab. Energi ITS	Date:2014/07/12	Operator:	Lab. Energi ITS	Date:2014/07/13
Sample ID:	11JUL1ZXF-110-15H	Filename:	BET_qt_phisy_at_2014_07_12_08_33_16_01_ZXF-110C-15H1.gps		
Sample Desc:	Nitrogen	Comment:			
Sample Weight:	0.0984 g	Instrument:	Autosorb IQ Station 1	Extended info:	Available
Approx. Outgas Time:	25.4 hrs	Final Outgas Temp.:	300 °C	CellType:	9mm
Analysis gas:	Nitrogen	Non-ideality:	6.50e-05 1/mmHg		
Analysis Time:	3:57 hr:min	Bath temp.:	77.35 K		
Analysis Mode:	Standard			VoidVol Remeasure:	on
VoidVol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	7.29183 cc	Warm Zone V:	10.8882 cc

**Multi-Point BET**

**Data Reduction Parameters Data**

<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å²
			Liquid Density: 0.806 g/cc

**Multi-Point BET Data**

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W(Po/P) - 1]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W(Po/P) - 1]
4.97774e-02	137.8672	3.0402e-01	2.01583e-01	139.7215	1.4458e+00
7.57424e-02	138.6029	4.7307e-01	2.26701e-01	139.7501	1.6784e+00
1.00007e-01	139.0449	6.4575e-01	2.51641e-01	139.7470	1.9523e+00
1.26210e-01	139.3344	8.2943e-01	2.76452e-01	139.7332	2.1878e+00
1.51293e-01	139.5195	1.0223e+00	3.01701e-01	139.6883	2.4747e+00
1.76429e-01	139.6346	1.2275e+00			

**BET summary**

Slope = 8.556  
Intercept = -2.156e-01  
Correlation coefficient, r = 0.990209  
C constant = -38.689  
Surface Area = 417.541 m²/g

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Nganjuk, 10 September 1992 dan merupakan anak pertama. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Rangkah VIII-170 Surabaya, SMPN 1 Surabaya dan SMAN 5 Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Kimia FMIPA-ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 1410 100 051. Penulis mengambil bidang minat Kimia Material dan Energi di bawah bimbingan Ibu Nurul Widiastuti, P.hD. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah aktif

dalam berbagai organisasi seperti HIMKA (Himpunan Mahasiswa KIMIA ITS) menjabat sebagai staff PPIM (Pengembangan Potensi Ilmiah Mahasiswa) periode 2011/2012, Sekretaris RISTEK (Riset dan Teknologi) periode 2012/2013 dan staff Kementerian Sosial dan Politik (MENSOSPOL) dalam organisasi BEM ITS (Badan Eksekutif Mahasiswa ITS) periode 2011/2012. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan keilmiahan seperti menjabat sebagai Trainer Keilmiahan ITS periode 2013-2014, serta pernah meraih penghargaan di bidang keilmiahan yaitu medali perunggu di PIMNAS (Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional) ke 26 Mataram dan Juara 1 Lomba PKM-GT (Program Kreativitas Mahasiswa-Gagasan Tertulis) di ITS tahun 2014. Pada tahun keempat, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar I, Kimia Dasar II, Senyawa Anorganik dan Sintesis Senyawa Anorganik. Penulis juga pernah menjalani kerja praktik di pengolahan limbah PT. SIER.

Email : [anggita\\_rkwardani@yahoo.com](mailto:anggita_rkwardani@yahoo.com) / [anggita.ramani@gmail.com](mailto:anggita.ramani@gmail.com)

Telp. : 081 331 940 703